

Trabajo de Fin de Grado

Ingeniería Industrial

DISEÑO DE SISTEMA DE REFRIGERACIÓN AUTOSOSTENIBLE PARA UN EDIFICIO DE BOXES

MEMÓRIA

Autor: Luis Barrantes Coloma
Director: Emilio Hernández Chiva
Fecha de convocatoria: Junio 2019



Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial
de Barcelona



Resumen:

En este proyecto se va a estudiar la implementación del sistema de refrigeración del edificio de boxes del circuito de velocidad Parcmotor Castellolí durante los meses más calurosos del verano (junio-setiembre).

En este estudio se ha comenzado con el análisis del edificio de boxes, tanto a escala climática como de sus planos; para decidir que parte del edificio hay que climatizar. Para ello se ha realizado inicialmente un estudio de carga térmica del local, obteniendo una potencia total de 290 kW, este valor representa el total de potencia frigorífica requerida para climatizar el local.

En primer lugar se ha planteado la opción de utilizar aires acondicionados para climatizar el local, con lo que se ha hecho tanto un estudio de mercado como una simulación del flujo de aire del local para hallar la distribución idónea. Como resultado de este estudio se decidió por la instalación de 14 unidades de aire (uno por cada box) de 20 kW de potencia frigorífica cada uno y un consumo eléctrico de 7.85 kW por unidad. La inversión inicial requerida para esto es de 47746.16€, sin añadir el coste energético que supondrían.

Tras comprobar los resultados, se ha decidido que la inversión requerida y el consumo de electricidad es demasiado elevada; con lo que se ha estudiado una segunda alternativa, la refrigeración del local mediante la reducción de sensación térmica gracias al uso de ventiladores de aspas industriales situados en el techo del local.

El estudio de esta nueva alternativa se ha realizado de modo similar al estudio de aires, con un estudio de mercado y una simulación del flujo de aire para hallar la correcta distribución de este. En cuanto a los resultados se ha decidido en la instalación de 14 ventiladores de 2.5 metros de diámetro (nuevamente uno por cada box) de 466 W de potencia cada uno y precio de 1300€ por unidad; con esto no únicamente se lograba reducir la potencia en casi un factor de 20, sino que también se reducían los costes económicos, puesto que la inversión inicial se reducía a 18200€.

Finalmente se ha estudiado la opción de convertir el sistema de ventilación en uno autosostenible mediante energía solar fotovoltaica, en este caso se han estudiado dos opciones, el uso de paneles solares o de lonas fotovoltaicas. Tras un estudio exhaustivo se ha tomado como alternativa a escoger estas últimas debido a su gran manejabilidad y fácil instalación, con lo que se ha decidido en emplear 46 lonas solares de 144 W de potencia, cuya generación es más que suficiente para abastecer ininterrumpidamente a los ventiladores del local.

Índice:

Resumen:.....	3
Índice:	5
1. Prefacio:.....	9
1.1. Origen del proyecto:	9
1.2. Motivación:.....	9
2. Introducción:	10
2.1 Objetivos del proyecto:	10
2.2 Alcance del proyecto:.....	10
3. Localización:.....	11
4. Climatología de la zona:	13
5. Planos y dimensiones del local a climatizar:	14
6. Estudio de carga térmica del edificio:	17
6.1. Carga sensible:.....	17
6.1.1. Transmisión a través de cerramientos exteriores (Q_{sce}):.....	18
6.1.2. Transmisión a través de cerramientos interiores (Q_{sci}):.....	19
6.1.3. Infiltraciones de aire exterior (Q_{si}):	20
6.1.4. Aportaciones internas (Q_{sai}):	20
6.1.4.1. Ganancia debida a iluminación interna (Q_{sii} y Q_{sif}):	20
6.1.4.2. Ganancia debida a los ocupantes del local (Q_{sol}):	21
6.1.4.3. Ganancia debida a aparatos que se hallan en el local (Q_{smaq}):	22
6.2. Carga latente:	22
6.2.1. Carga latente debida a infiltraciones de aire exterior (Q_{li}):	22
6.2.2. Carga latente transmitida por ocupación y maquinaria (Q_{lol} y Q_{lmaq}):	23

6.3. Carga térmica total:.....	23
7. Refrigeración por aire acondicionado:.....	24
7.1. Funcionamiento:	24
7.1.2 Tecnología inverter:	24
7.1.3. Potencia térmica y eléctrica de un aparato de refrigeración:.....	25
7.2 Características de un aire acondicionado:.....	25
7.2.1. Unidad interior:	25
7.2.2. Unidad exterior:	27
7.3. Estudio de mercado de aires acondicionados:	29
7.4. Colocación de los aparatos y simulación del flujo del aire :	30
7.5. Selección de la mejor opción y estudio de alternativas:	38
8. Refrigeración mediante ventiladores de aspas de techo:	40
8.1. Sensación térmica; definición y física:	40
8.2. Ventiladores de techo:	41
8.2.1. Funcionamiento:	41
8.3. Estudio de mercado de ventiladores de techos:	43
8.4. Colocación de los aparatos y simulación del flujo del aire:	44
8.5. Selección de la mejor opción:	51
8.6. Estudio de alternativa; motor de imanes enfrentados:	52
9. Sistema de alimentación mediante energía solar fotovoltaica:	54
9.1. Energía solar:	54
9.1.1. Energía solar pasiva:.....	54
9.1.2. Energía solar térmica:	54
9.1.3. Energía solar termoeléctrica:.....	54

9.1.4. Energía solar fotovoltaica:	55
9.1.5. Energía solar híbrida:	56
9.2. Generación eléctrica mediante energía fotovoltaica:	57
9.2.1. Radiación solar:	57
9.2.2. Efecto fotovoltaico:	59
9.2.3. Eficiencia energética:	59
9.3. Placas solares fotovoltaicas:	60
9.4. Lona solar fotovoltaica:	64
9.5. Elección de la mejor alternativa:	66
10. Evaluación del impacto ambiental del proyecto	67
10.1. Estudio del impacto ambiental de los ventiladores de aspas:	67
10.1.1. Construcción de los ventiladores:	67
10.1.2. Vida útil de los ventiladores:	68
10.1.3. Desmantelamiento y reciclado de los ventiladores:	68
10.2. Estudio del impacto ambiental de las lonas fotovoltaicas:	69
10.2.1. Construcción de las lonas fotovoltaicas:	69
10.2.2. Vida útil de las lonas fotovoltaicas:	69
10.2.3. Desmantelamiento y reciclado de las lonas fotovoltaicas:	69
11. Presupuesto	71
11.1. Costes de la instalación:	71
11.2. Costes del proyecto:	73
12. Planificación del proyecto	75
Conclusiones:	76
Agradecimientos:	78

Bibliografía:.....	79
Bibliografía web:.....	79
Bibliografía de imágenes:.....	81
Anexo 1: Planos del local:.....	83
Anexo 2: Hojas de características.....	86
Aire acondicionado modelo GIA-DT3-200IX48:.....	86
Ventilador de aspas modelo HVLS-ECO AC 1PH 200-240V 50/60Hz:	88
Panel solar modelo SPR-X22-370 (MAX3-400)	89
Lona solar modelo UniSolar ePVL-144 Laminate.....	91

1. Prefacio:

1.1. Origen del proyecto:

El problema sujeto de estudio es el siguiente; en el circuito de velocidad Parcmotor Castellolí, en el cual se realizan pruebas de vehículos de carreras y comerciales de grandes marcas, se ha encontrado con que en verano, las temperaturas alcanzadas en sus edificios de boxes, son demasiado elevadas, mermando e incomodando a los trabajadores que se hallan en su interior. Con lo que se ha propuesto estudiar y diseñar un sistema de refrigeración del local, y a ser posible, que puede ser autosostenible para no depender de la red eléctrica.

La primera idea que viene a la mente cuando se habla de refrigeración es la instalación de aire acondicionados, pero en un país en el que el consumo de energía está por las nubes, es muy recomendable (e incluso imperativo) hallar nuevos métodos, más ecológicos y económicos que permitan un mismo resultado con un consumo mucho menor.

1.2. Motivación:

La principal motivación de este proyecto es el de que permitía trabajar en el ámbito de climatización de edificios, ya que actualmente, con el problema del cambio climático, las temperaturas exteriores se han vuelto más extremas con lo que la gente busca más que antes el confort térmico a un bajo coste.

Además, en la actualidad existe una tendencia muy fuerte de tratar de crear cualquier instalación autosostenible y que no contribuyan al cambio climático; para ello las energías conocidas como renovables han estado experimentando un auge en popularidad e inversión.

España tiene un gran potencial que puede desarrollar en cuanto a las energías renovables; tiene muchos puntos en los que aprovechar la energía hidráulica, grandes parques eólicos y sobretodo, un grado de irradiación solar altísimo comparado con el resto de Europa. Por ello, estos últimos años, la energía solar es el tipo de energía por el que se ha estado apostando.

2. Introducción:

2.1 Objetivos del proyecto:

Este trabajo tiene como objetivo estudiar y diseñar el sistema de climatización autosuficiente del edificio de boxes de Parcmotor Castellolí, debido a que las temperaturas en verano alcanzan valores demasiado altos, con lo que incomodan y merman a los trabajadores y las empresas que vienen a realizar ensayos.

El cuerpo de este proyecto constará de tres partes; un estudio preliminar sobre la viabilidad y consumo de una instalación mediante aires acondicionados. A continuación se intentará sustituir el sistema de aire acondicionado por ventiladores de aspas, los cuales mediante la circulación y movimiento del aire tratarán de reducir la temperatura del lugar y a su vez abaratar los costes energéticos que supondría mantener el aire. Finalmente se buscará un sistema de auto sustentación mediante un techo de lonas solares para que el sistema de ventilación sea independiente de la red eléctrica.

Asimismo, se estudiará la el coste tanto económico como ambiental de todas las soluciones propuestas.

2.2 Alcance del proyecto:

Tal y cómo se ha comentado anteriormente, este proyecto se centrará en el edificio de boxes de Parcmotor de Castellolí, situado en la comarca de l'Anoia en la provincia de Barcelona.

El proyecto abarca los siguientes puntos:

- Estudio del lugar en el que se va a implementar la solución, tanto a nivel geográfico como a nivel de clima y temperaturas.
- Dimensionado del local y estudio de los planos de los boxes.
- Estudio energético de la carga térmica del local que se necesita compensar mediante potencia frigorífica.
- Estudio de funcionamiento y de mercado de los aires acondicionados, simulación del flujo del aire para la idónea implementación de los aparatos y estudio de alternativas para reducir el consumo energético.
- Estudio de funcionamiento y de mercado de ventiladores de techo y simulación del flujo del aire para la idónea implementación de los aparatos.
- Estudio de un sistema de alimentación de los ventiladores de techo autosuficiente mediante energía solar fotovoltaica.
- Estudio del presupuesto de la instalación e impacto ambiental que esta causaría.

3. Localización:

Nuestro lugar de estudio será el circuito de velocidad de Parcmotor Castellolí, ubicado en el municipio de Castellolí, cerca de la ciudad de Igualada, en la provincia de Barcelona, España; localización del cual se puede observar en la *Imagen 3-1*. Más concretamente se estudiará el edificio de boxes del circuito.



Imagen 3-1: Mapa de la localización del circuito de velocidad.

- Dirección: Carretera Nacional A-2, Km 560, 08719 Castellolí, Barcelona
- Localización geográfica: 41° 35' 31" N, 1° 41' 19" E

A continuación se presentan las *Imágenes 3-2 y 3-3* en satélite más detalladas del circuito y del edificio de boxes:

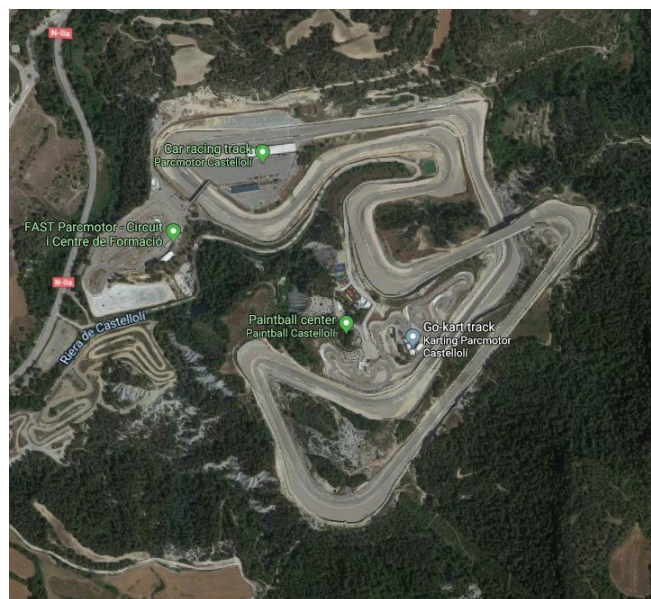


Imagen 3-2: Vista por satélite del circuito de velocidad.

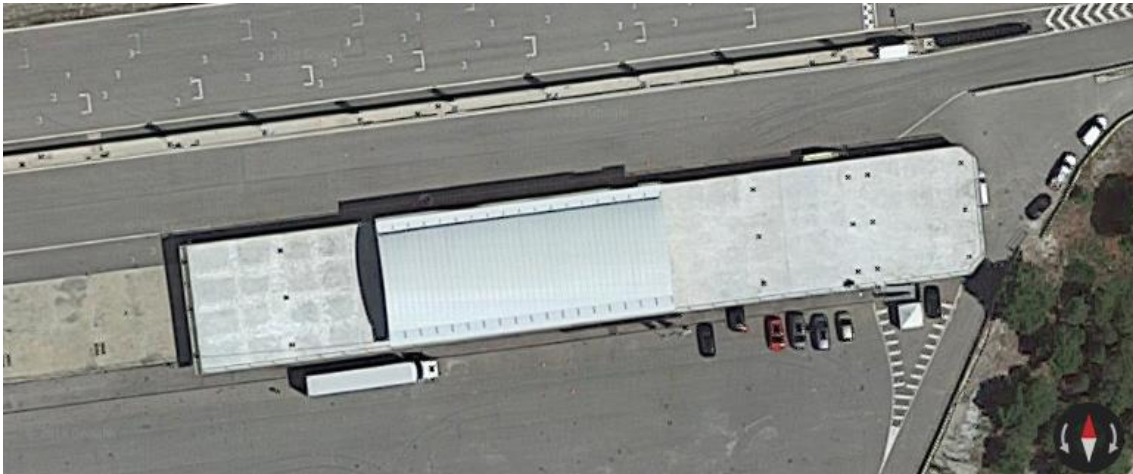


Imagen 3-3: Vista aérea del edificio de boxes a climatizar.

Tal y como se puede observar, el edificio de boxes a climatizar se halla con las paredes orientadas cada una en una dirección cardinal (pese a no estar exactamente orientadas en dichas direcciones, se tomará como que sí que lo está para poder realizar los cálculos de un modo más simple).

Otra simplificación que se realizará es la de tomar el techo como una superficie completamente plana sin ninguna construcción situada en un nivel superior; es decir, que la “cúpula” situada sobre el edificio se menospreciará y se tomará el edificio como un único prisma rectangular sin ningún agregado.

4. Climatología de la zona:

El poblado más cercano con datos climáticos registrados es Castellolí; allí el clima es mediterráneo continental, con características similares a las del clima mediterráneo en cuanto a las precipitaciones pero con características de climas continentales en el régimen de temperaturas, con veranos bastante cálidos e inviernos fríos; en la *Imagen 4-1*, se muestra el diagrama de temperaturas máximas y mínimas anuales.

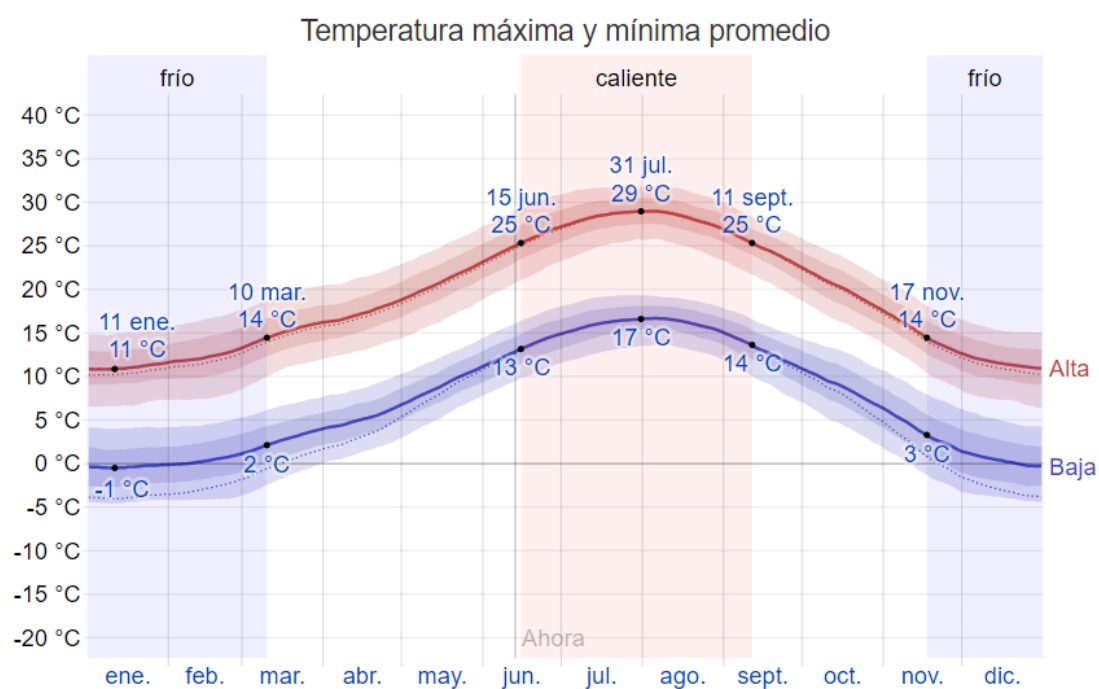


Imagen 4-1: Diagrama de temperaturas de Castellolí promedio con las máximas y mínimas mensuales.

Se puede observar que las temperaturas suelen variar entre 17 y 29 °C; llegando a lograr temperaturas máximas de 32 °C en los días más calurosos de verano.

5. Planos y dimensiones del local a climatizar:

A continuación se detallarán los planos y dimensiones del edificio de boxes a acondicionar. Para ello se viajó in situ al circuito de carreras Parcmotor Castellolí, en el que en principio se podría entrar a observar el edificio y tomar medidas e imágenes del interior de este; lamentablemente, una empresa de automoción había reservado el circuito, boxes incluidos, hasta mediados de julio; imposibilitando el acceso al local durante la duración del proyecto.

Aun así se pudo contactar con el responsable del circuito y al comentar el problema surgido, accedió a entregarnos los planos del edificio de boxes a climatizar, al igual que las medidas del edificio.

En el Anexo 1: Planos del local se muestra el plano de la instalación eléctrica (el único proporcionado, pero con el que es suficiente) en el que se puede ver la vista de planta del local.

En cuanto a la estructura del local se puede ver que tiene la forma de prisma rectangular (o caja de zapatos), con puertas de acero de estilo garaje en ambos lados (representadas como rectángulos amarillos en los planos). Adyacentemente al edificio de boxes a climatizar se halla un pequeño almacén, este almacén/zona de empleados no entra en el proyecto de climatización, con lo que únicamente se tendrá presente como una habitación contigua al local.

A continuación se mostrará en la *Imagen 5-1*, una vista en más detalle de una sección del edificio de boxes en el que se podrán apreciar las medidas de este:

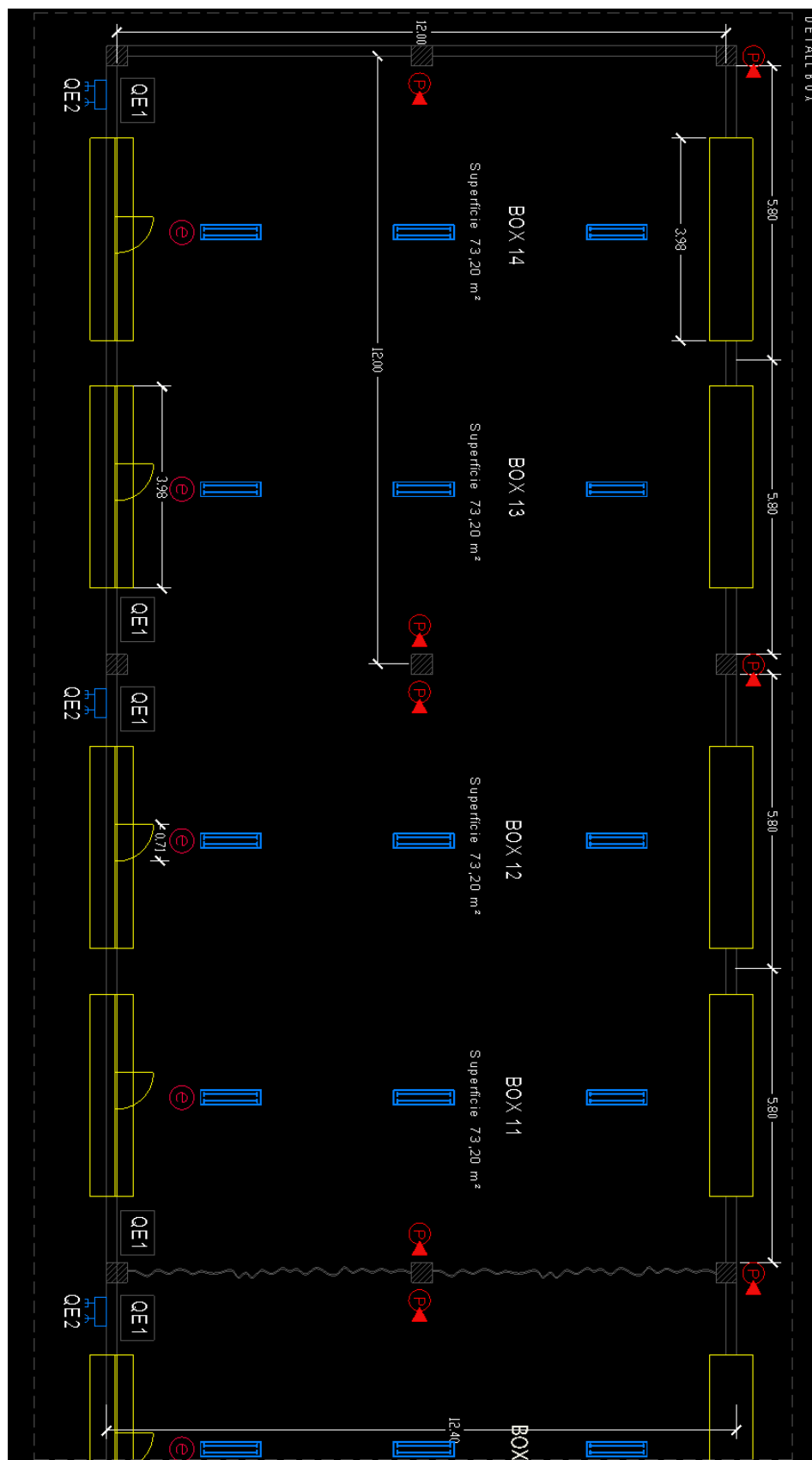


Imagen 5-1: Detalle del interior del edificio de boxes

Tal y cómo se puede comprobar, el local se compone de 14 boxes de las mismas dimensiones; cada uno de una superficie de 73.20 m^2 ; y de dimensiones totales de $84 * 12.4 = 1041.6 \text{ m}^2$. Tal y cómo se puede observar las superficies no se cuadran del todo ($14 * 73.20 = 1024.8$ o 1041.6 según cómo se mire); esto se debe a ligeras diferencias en como tomar las áreas, aun así se tomará una superficie de compromiso de 1030 m^2 para realizar cualquier operación pertinente.

Un detalle que no aparece en los planos proporcionados, pero que fue proporcionado por el director del circuito es la altura de dicho edificio; en este caso se tiene una altura del edificio de 3.5 metros.

Cabe destacar, que a pesar que haya 14 boxes independientes, no se hallan separados por pared alguna, con lo que al ventilar se considerará que el flujo de aire circula libremente entre boxes sin impedimento alguno.

6. Estudio de carga térmica del edificio:

Se realiza el estudio para encontrar cuanta potencia hará falta para refrigerar el local en función de varios parámetros y por ende definir la potencia de refrigeración que hará falta.

Cabe comentar, que en el caso de este trabajo, el estudio de carga térmica se realizará de forma manual, empleando ecuaciones. Existen otros medios de realizar este cálculo, empleando software en el que únicamente hay que introducir la geometría del local y las condiciones climatológicas pertinentes y el programa realiza todos los cálculos pertinentes entregando el valor final. Este proceso es mucho más sencillo y exacto, pero debido a que el software es de pago y no se dispone de ninguna licencia no se ha podido emplear; además de que pese a tener un plano del local no se dispone de los suficientes datos para llevar a cabo la simulación. Otra razón de realizarlo manualmente es que el tiempo dedicado al aprendizaje del software en comparación con los resultados obtenidos no merece la pena, puesto que el resultado obtenido manualmente, a pesar de no ser tan exacto, sigue siendo igualmente aceptable.

Hay 2 tipos de cargas térmicas; interiores y exteriores:

Las exteriores pueden ser de dos tipos:

- A través de cerramientos.
- A través de la ventilación.

Mientras que las internas pueden ser debidas a:

- Generación de las personas.
- Iluminación.
- Maquinaria o aparatos hallados en el interior.

La carga térmica total (**Qt**) se compone de dos partes; la sensible (**Qs**) y la latente (**Ql**)

6.1. Carga sensible:

La carga sensible a su vez depende de varios factores:

- Transmisión a través de cerramientos externos e internos (**Qsce** y **Qsci**).
- Infiltraciones de aire exterior (**Qsi**).
- Aportaciones internas (ocupación, iluminación y maquinaria) (**Qsai**).

Con lo que nos quedaría la ecuación $Q_s = Q_{ste} + Q_{sti} + Q_{si} + Q_{sai}$

6.1.1. Transmisión a través de cerramientos exteriores (Qsce):

Esta carga depende de la transmisión de paredes y techos opacos que limitan con el exterior; el modo de calcularlo es el siguiente:

$$Q_{sce} = U * S * (T_e - T_i)$$

Siendo:

U el coeficiente de transferencia térmica del local, que es la inversa de la resistencia térmica y depende del material de la pared, si tiene o no aislante, el tipo de este en caso de haberlo y su espesor expresado en $W/m^2\text{°C}$.

S la superficie de pared expuesta a la diferencia de temperatura exterior en m^2 .

Ti la temperatura interior de diseño del local, es decir, la temperatura en la que es recomendable trabajar; en verano es de unos 24 °C.

Te es el valor de la temperatura exterior, que depende de la temperatura media del mes más cálido del año y del valor máximo de dicho mes. El cálculo de la temperatura exterior de es el siguiente:

$$T_e = 0.4 * T_{med} + 0.6 * T_{max}$$

En el caso que nos atañe para hallar el valor de U, hay que tener calcular primero la resistencia térmica de la pared, en la que hay que tener en cuenta los cerramientos de la pared; esta se puede aproximar como una pared de hormigón de 20 cm de espesor en la que en el centro se halla aire (puesto que los ladrillos de hormigón empleados en esta construcción son huecos); el espesor de esta franja de aire se puede considerar de 14 cm de los 20 de la pared. Con lo que en este caso la resistencia térmica de la pared es:

$$R = \sum \frac{e}{\lambda} = \frac{0.06}{2} + \frac{0.14}{0.024} = 5.86 \text{ m}^2\text{K/W} \rightarrow U = 0.17 \text{ W/m}^2\text{K}$$

La superficie interior expuesta al exterior se considerará como el techo del local, la pared del lado oriental (la occidental no puesto que se halla adyacente a otra habitación); mientras que para las paredes norte y sur únicamente se consideraran aquellas partes de pared que no son puertas (las cuales se consideraran que se hallan abiertas, y por ende se tomarán como infiltraciones de aire); obteniendo una superficie final de:

- $Stot = Stecho + SparedE + SparedN + SparedS = 1268 \text{ m}^2$
 - o $Stecho = 1030 \text{ m}^2$
 - o $SparedE = 12 * 3.5 = 42 \text{ m}^2$
 - o $SparedS = 28 * 3.5 = 98 \text{ m}^2$
 - o $SparedN = SparedS = 98 \text{ m}^2$

Para calcular la temperatura exterior de diseño, y por ende la exterior, se puede emplear la climatología de la zona, con ella se determina que la temperatura exterior de diseño es de $T_e = 0.4 * 24 + 0.6 * 32 = 28.8^{\circ}\text{C}$; con lo que finalmente tenemos una diferencia de temperaturas de 4.8°C .

Finalmente obtenemos que la carga térmica que entra a través del exterior por las paredes es de **$Q_{sce} = 1.03 \text{ kW}$**

6.1.2. Transmisión a través de cerramientos interiores (Q_{sci}):

Esta carga es similar a la anterior, pero en este caso mira la transmisión de calor que el interior recibe de otras estancias del edificio cómo por ejemplo habitaciones adyacentes. La expresión del cálculo de dicha carga es:

$$Q_{sci} = U * S * (T_e - T_i)$$

Siendo:

U el coeficiente de transferencia térmica del local, que depende del material de la pared, si tiene o no aislante, el tipo de este en caso de haberlo y su espesor.

S la superficie de pared expuesta a la diferencia de temperatura exterior.

T_i la temperatura interior de diseño del local.

T_e la temperatura al otro lado de la pared.

En este caso únicamente se halla la pared occidental, la cual esta contigua a una zona de almacenaje/sala de empleados; aun así, el material de dicha pared es el mismo que para el resto, al igual que el espesor de la pared, con lo que el parámetro K no varía. La superficie de la pared es la misma que la de la pared oriental (42 m^2) mientras que la diferencia de temperaturas es aproximadamente de -2°C , puesto que dicha sala adyacente suele estar climatizada a una temperatura menor que el box; aun así al ser una superficie tan pequeña, su aportación a la reducción de carga térmica es relativamente menor que el resto.

El valor que se obtiene es de **$Q_{sci} = -33.6 \text{ W}$** .

6.1.3. Infiltraciones de aire exterior (Q_{si}):

Esta carga viene determinada por las infiltraciones y ventilación del aire exterior, la expresión es la siguiente:

$$Q_{si} = V * \rho * C_{e,aire} * (T_e - T_i)$$

Siendo:

V el caudal de aire que entra en m^3/s .

ρ la densidad del aire ($1.18 \text{ kg}/m^3$).

$C_{e,aire}$ el calor específico del aire ($1012 \text{ J}/\text{kgK}$).

T_i la temperatura interior de diseño del local en $^{\circ}\text{C}$.

T_e la temperatura exterior en $^{\circ}\text{C}$.

En el caso de las infiltraciones de aire para nuestro edificio, se tomará en cuenta que durante el verano todas las puertas metálicas se considerarán abiertas (con lo que el aire entrará únicamente por la mitad de ellas y saldrá por las otras), con lo que para calcular el caudal del aire se tomará una superficie de entrada de $14 \text{ puertas} * 4 * 3.5 \text{ m}^2 = 196 \text{ m}^2$ de superficie de entrada de aire, multiplicado por una velocidad del aire correspondiente a una brisa suave de 0.1 m/s obtenemos un caudal de aire de $V = 19.6 \text{ m}^3/s$.

En cuanto a la diferencia de temperatura, se tomarán los valores $28.8 - 24 = 4.8^{\circ}\text{C}$

Finalmente, la potencia térmica debida a las infiltraciones de aire exterior es de **$Q_{si} = 112.34 \text{ kW}$**

6.1.4. Aportaciones internas (Q_{sai}):

El valor de esta carga es una combinación de diferentes tipos de cargas que se generan en el interior del edificio; principalmente son 3:

- Ganancia de calor debida a la iluminación interna.
- Ganancia de calor debida a los ocupantes del local.
- Ganancia de calor debida a los aparatos que se hallan en el local.

6.1.4.1. Ganancia debida a iluminación interna (Q_{sii} y Q_{sif}):

Esta viene dada por las lámparas de iluminación que se hallan en el propio local, que principalmente son de dos tipos, incandescentes y fluorescentes, y como simplificación se tomará su potencia como calor sensible que se emite.

$$Q_{sii} = n * Pot_{,incand} ; Q_{sif} = 1.25 * n * Pot_{,fluor}$$

En este caso, se considerará que todas las lámparas son fluorescentes ($Q_{sii} = 0 \text{ kW}$) con dos tubos por lámpara; observando los planos de la instalación eléctrica se puede observar que en todo el edificio de boxes se dispone de 3 lámparas por box, haciendo un total de $21 * 2 = 42$ fluorescentes; que, según los modelos más comunes del mercado consumen alrededor de unos 20 W; aportando un total de $Q_{sif} = 1.25 * 42 * 20 = 1.05 \text{ kW}$ a la carga térmica

6.1.4.2. Ganancia debida a los ocupantes del local (Q_{sol}):

La carga térmica que aporta una persona viene originada por diversas causas; radiación, originada por la diferencia de temperaturas con el ambiente; convección, causada por la temperatura de la piel siendo superior a la del ambiente; conducción, al tener contacto con otros elementos; respiración, puesto que el aire exhalado se halla a una mayor temperatura y demás. El valor de esta carga se puede aproximar en función del tipo de trabajo físico que se realiza por las personas que se hallan en el interior y la temperatura en la que se realiza dicho trabajo, la *Imagen 6-1* siguiente determina dichos valores (en kcal/h):

ACTIVIDAD REALIZADA	28 °C		27 °C		26 °C		24 °C	
	Sensible	Latente	Sensible	Latente	Sensible	Latente	Sensible	Latente
Sentado en reposo. Escuela.	45	45	50	40	55	35	60	30
Sentado trabajo ligero. Instituto.	45	55	50	50	55	45	60	40
Oficinista, actividad ligera.	45	70	50	65	55	60	60	50
Persona de pie. Tienda.	45	70	50	75	55	70	65	60
Persona que pasea. Banco.	45	80	50	75	55	70	65	60
Trabajo sedentario.	50	90	55	85	60	80	70	70
Trabajo ligero taller.	50	140	55	135	60	130	75	115
Persona que camina.	55	160	60	155	70	145	85	130
Persona que baila.	70	185	75	175	85	170	95	155
Persona en trabajo penoso.	115	250	120	250	125	245	130	230

Imagen 6-1: Relación entre actividad realizada y carga sensible/latente aportada por una persona.

Con lo que la expresión para calcular dicha carga es:

$$Q_{sol} = n * C_{sensible, pers}$$

En cuanto al trabajo en el edificio, se considerará como una actividad de trabajo ligero de taller a 24 °C (75 kcal/h = 87.23 W); en cuanto al número de personas que se hallan en el local, es difícil de concretar, puesto que nunca habrá un número concreto de personas, pero se puede aproximar, teniendo en cuenta varias suposiciones:

- No todos los boxes estarán a la vez ocupados (se supondrá que solo hay 8 boxes ocupados a la vez)
- Un box estará ocupado por un equipo de personas, como el numero también puede variar, se tomará un valor arbitrario razonable de 5 personas por grupo; dando un total de $n = 40$ personas trabajando en el edificio a la vez.

Tomando estos datos, el valor del calor sensible de las personas en el interior es de $Q_{sol} = 40 * 87.225 = 3.49 \text{ kW}$

6.1.4.3. Ganancia debida a aparatos que se hallan en el local (Q_{smq}):

Este cálculo se toma considerando que la potencia de los aparatos eléctricos y maquinaria se considerará, al igual que con la iluminación, que la potencia íntegra del aparato es la que se desprende en forma de calor. Pese a esto, se considera que no todos los aparatos están funcionando durante todo el tiempo con lo que a la potencia total se le aplicará un factor corrector de 0.75 a la suma total de todas las potencias.

Este valor es bastante complicado de calcular, puesto que no se sabe exactamente cuáles van a ser los aparatos eléctricos y la maquinaria que se empleará en cada box; aun así se puede tomar una cifra aproximada de 5 kW por box empleado ($Q_{smq} = 8 * 5 = 40 \text{ kW}$)

Con lo que finalmente nos queda que la carga de calor sensible total es de

$$Q_s = Q_{str} + Q_{st} + Q_{si} + Q_{sif} + Q_{sol} + Q_{smq} = 1.03 - 0.0336 + 112.34 + 1.05 + 3.49 + 40 = 157.87 \text{ kW}$$

6.2. Carga latente:

La carga latente se obtiene principalmente por la aportación de vapor de agua, el principal componente del cual es el aportado por la ocupación del local. Aparte de este, hay otros que también aportan potencia, pero comparados con este son despreciables.

6.2.1. Carga latente debida a infiltraciones de aire exterior (Q_{li}):

Esta carga viene determinada por la siguiente expresión:

$$Q_{li} = V * \rho * C_{l, agua} * \Delta W$$

V el caudal de aire que entra en m^3/s .

ρ la densidad del aire (1.18 kg/m^3).

$C_{e,aire}$ el calor específico del agua vapor (2257 KJ/kg).

ΔW la diferencia entre humedad absoluta interior y exterior del local.

Para el edificio de boxes tenemos que el caudal de aire es el mismo que antes $V = 19.6 \text{ m}^3/\text{s}$; y en cuanto a la diferencia de humedades absolutas tenemos un valor de 0.002. Finalmente obtenemos un valor de carga latente de **$Q_{li} = 104.4 \text{ kW}$** .

6.2.2. Carga latente transmitida por ocupación y maquinaria (Q_{lol} y Q_{lmaq}):

Esta se determina multiplicando el calor latente de una persona por el número de ocupantes en la zona ocupada; el calor latente de una persona, al igual que el sensible se puede hallar en la *Imagen 6-1* mostrada anteriormente.

Aquí, empleando el nivel de actividad mencionado anteriormente, para el mismo número de personas (40) obtenemos un valor de **$Q_{lol} = 5.35 \text{ kW}$** .

En cuanto a la maquinaria empleada se considerará una cifra de 2.5 kW por box empleado (**$Q_{lmaq} = 8 \cdot 2.5 = 20 \text{ kW}$**)

Finalmente tenemos una carga latente total de:

$$Q_l = Q_{li} + Q_{lol} + Q_{lmaq} = 104.4 + 5.35 + 20 = \mathbf{129.75 \text{ kW}}$$

6.3. Carga térmica total:

Una vez obtenidos todos los componentes para el cálculo de la carga térmica del lugar simplemente queda sumarlos todos para hallar el valor total, y a partir de este resultado calcular la potencia requerida para alcanzar una temperatura óptima.

En el caso que nos atañe el resultado total de la carga térmica es de **287.62 kW** . Este dato es concordante con la aproximación de cálculo de las frigorías requeridas en función del volumen del local; que consiste en que para refrigerar un metro cúbico se requieren unas 50 frigorías, que equivaldrían a 58.14 W por m^3 . En este caso con un volumen de $1030 \cdot 3.5 = 3605 \text{ m}^3$ nos da un valor aproximado de 209.6 kW de frío necesario; valor que se asemeja al obtenido mediante cálculo de carga térmica. Aun así, debido a que el último valor es obtenido por una aproximación, se empleará el valor de potencia necesaria obtenido mediante la carga térmica, y para redondear se tomará como valor objetivo para enfriar el de **290 kW** de carga térmica total.

7. Refrigeración por aire acondicionado:

7.1. Funcionamiento:

Un sistema de aire acondicionado basa su función en un ciclo frigorífico, el cual mediante el uso de fluidos de refrigeración, extrae el calor de la zona a refrigerar. El sistema más común de aire acondicionado es el de refrigeración por compresión, este consta de varias partes:

- La unidad interior: Contiene el evaporador extrae el calor del propio aire caliente de la estancia, permitiendo enfriarla.
- La unidad exterior: Contiene el compresor, el condensador donde el gas refrigerante pasa del estado gaseoso al líquido y la válvula de expansión; desde esta unidad se expulsa el aire caliente hacia el exterior.
- Gases refrigerantes: Cambian su estado de líquido a gaseoso absorbiendo en el proceso el exceso de calor de la estancia.
- Termostato: regula el funcionamiento del equipo y lo apaga cuando se alcanza la temperatura deseada.

Durante el ciclo de refrigeración se pueden observar cuatro fases:

- 1) El compresor comprime el gas subiendo su temperatura sin alcanzar la fase líquida para no dañar al compresor.
- 2) El condensador enfría el gas que pasa a fase líquida y expulsa el calor hacia el exterior.
- 3) La válvula de expansión reduce la presión dramáticamente y con esa reducción el fluido se convierte en gas a baja temperatura.
- 4) El evaporador roba la energía del interior subiendo la temperatura del gas y bajando la temperatura del aire local

7.1.2 Tecnología inverter:

El compresor en un sistema de refrigeración es la pieza más importante de este, y al mismo tiempo la que más consume, puesto que cada vez que llega a la temperatura deseada se detiene y vuelve a ponerse en marcha cuando la temperatura vuelve a variar, con lo que estos cambios bruscos no solo aumentan la energía consumida sino que también acortan la vida del dispositivo.

Para compensar este hecho se ha desarrollado la tecnología inverter, actualmente presente en casi todos los aparatos de aire acondicionado. Esta tecnología permite regular la frecuencia con la que el ciclo térmico trabaja, más concretamente regula la velocidad del compresor, haciendo que este gire de forma continua.

7.1.3. Potencia térmica y eléctrica de un aparato de refrigeración:

La potencia térmica y eléctrica son distintos conceptos; mientras que la potencia térmica se refiere a la potencia de refrigeración del aparato, la eléctrica mide el consumo de este. Esta última es siempre menor que la térmica puesto que la térmica es la máxima que el aparato puede alcanzar al enfriar. En cuanto a las unidades, la potencia eléctrica se mide en kilovatios mientras que la térmica se mide en frigorías (1 frigoría equivale a la extracción de una kilocaloría (-1 kcal) de un sistema). La conversión entre kilovatios y frigorías/kilocalorías es la siguiente; $1 \text{ kW} = 860 \text{ kcal/h} = 860 \text{ frigorías/h}$.

Usualmente en todos los aparatos de refrigeración vienen dadas dos potencias térmicas; la de refrigeración y la de calefacción, en el caso de este trabajo, y dado que nuestro objetivo es el de únicamente enfriar el ambiente en verano; puesto que en invierno las temperaturas alcanzadas no son tan altas, únicamente nos fijaremos en las potencias de refrigeración.

7.2 Características de un aire acondicionado:

Tal y como se ha comentado anteriormente un aire acondicionado contiene una unidad interior, en la que el aire del interior se enfría, y la exterior, en la que el aire exterior se calienta. Ambas unidades contienen una etiqueta de características que, entre otros datos nos permitirán saber la potencia de frío que emiten con el que podremos compensar la carga térmica generada en el local.

7.2.1. Unidad interior:

La unidad interior contiene el evaporador y el termostato, normalmente la etiqueta de características se halla en la parte inferior de la maquina o en un lateral. En la unidad interior se suelen indicar menos características que en la exterior, aun así está también contiene información importante acerca de su uso. A continuación se muestra en la *Imagen 7-1* la etiqueta de características de una unidad interior de aire acondicionado:



Imagen 7-1: Hoja de características de la unidad interior de un aire acondicionado.

Los números que se ven en la imagen corresponden a los siguientes datos:

- 1) Model: Corresponde al modelo del aire acondicionado, en este caso el modelo es el MSZ-FA35VA.
- 2) Voltage: Corresponde al voltaje de funcionamiento, en este caso el de la red eléctrica de 230 voltios de corriente alterna.
- 3) Phase: Cantidad de fases del aparato; en este caso el aparato es de una sola línea (monofásico) y con un neutro.
- 4) Frequency: La frecuencia de la tensión, usualmente en todos los países de la Unión Europea la frecuencia está normalizada a los 50 Hz (Hercios) mientras que en los Estados Unidos la frecuencia empleada es de 60 Hz.
- 5) Ip code: Código de protección (impermeabilidad) que el aparato tiene, esta protección está para evitar daños en el aparato a causa de lluvia o polvo.
- 6) Refrigerant: Indica el tipo de refrigerante empleado en el aparato; en este caso se emplea el refrigerante R-410
- 7) Net weight: Es el peso neto de la máquina (únicamente del aparato interior); en este caso 10 kg.
- 8) Max. input: Indica el consumo eléctrico máximo de la unidad interior en el aparato en concreto tenemos una potencia máxima de 40 W.
- 9) Input: Indica el consumo eléctrico medio de la unidad interior, 33 W. Cabe comentar que tanto esta potencia como la anterior no son las potencias de refrigeración, sino que son las potencias que el circuito eléctrico soporta en su punto máximo y estándar respectivamente.
- 10) Current: Indica la intensidad de corriente de la máquina, en este caso 0.25 A (amperios).

- 11) Year of manufacture: Aquí podemos ver la fecha de fabricación de este equipo, año y mes de fabricación.
- 12) Serial no.: Número de serie del aire acondicionado.

7.2.2. Unidad exterior:

La unidad exterior contiene el compresor, la pieza más importante del ciclo térmico, esta etiqueta de características nos da información más detallada del aparato, como la potencia frigorífica (o de calentamiento) que es capaz de suministrar o la cantidad de gas refrigerante que se halla en el circuito. Un ejemplo de etiqueta de características de una unidad exterior es el siguiente mostrado en la Imagen 7-2:

MODEL		1 AOHB24LACL	
230 V ~ 50 Hz		2	
INDOOR UNIT	AUHA24L	ARHA24L	ABHA24L
COOLING			
CAPACITY (kW)	3 7.10	7.10	7.10
CURRENT (A)	4 10.1	10.1	10.1
INPUT POWER (kW)	5 2.32	2.32	2.32
HEATING			
CAPACITY (kW)	6 8.00	8.00	8.00
CURRENT (A)	7 10.2	10.2	10.2
INPUT POWER (kW)	8 2.33	2.33	2.33
COOLING	MAX. CURRENT	9 12.0	A
HEATING	MAX. CURRENT	10 13.5	A
TEST CONDITION: IEC 60335-2-40			
IPX4			
MAX. PRESSURE: SUCTION			
1160 kPa			
: DISCHARGE			
4120 kPa			
REFRIGERANT: R410A			
11 1700 g			
SERIAL No. 12			
E 5026432			
CE			
FUJITSU GENERAL LIMITED			

Imagen 7-2: Hoja de características de la unidad exterior de un aire acondicionado.

Los números que se ven en la imagen corresponden a los siguientes datos:

- 1) Model: Corresponde al modelo del aire acondicionado, en este caso el modelo es el AOHB24LACL.
- 2) Voltaje: Corresponde al voltaje de funcionamiento, en este caso el de la red eléctrica de 230 voltios. También indica la frecuencia de la corriente alterna; 50 Hz.
- 3) Cooling capacity: Indica la potencia frigorífica por hora o capacidad del aparato; en este caso de 7.1 kW (kilovatios) o de 6106 frigorías. En esta etiqueta se pueden apreciar 3 columnas, estas pertenecen a 3 modelos de unidad interior distintos (AUHA, ARHA y ABHA).
- 4) Cooling current: Indica la intensidad de corriente consumida por el aparato al enfriar; 10.1 A.
- 5) Cooling input power: Consumo energético del aparato en kW al enfriar.
- 6) Heating capacity: Igual que la capacidad de enfriamiento pero cuando se emplea el mecanismo como bomba de calor (el ciclo inverso del de refrigeración); 8 kW.
- 7) Heating current: Intensidad del aparato al funcionar como bomba de calor.
- 8) Heating input power: Consumo eléctrico expresado en kW funcionando en bomba de calor.
- 9) Max. cooling current: Es la máxima intensidad de corriente que puede llegar a soportar el aire acondicionado, esta medida es importante para diseñar la instalación eléctrica y seleccionar tanto el grosor de los hilos de alimentación como sus protecciones.
- 10) Max heating current: Es la máxima intensidad que la unidad soporta cuando funciona como bomba de calor.
- 11) Refrigerant: Indica el tipo de gas refrigerante empleado y la cantidad de gasa necesaria para el equipo, en este caso tenemos refrigerante R-410A con una cantidad total de 1.7 kg.
- 12) Serial no.: Número de serie del aire acondicionado.

7.3. Estudio de mercado de aires acondicionados:

Tal y como se ha hallado en el apartado de cálculo de la carga térmica, la potencia necesaria de refrigeración es de 290 kW; es decir, que para suplir la demanda de frío, la potencia de enfriamiento de todos los aparatos de aire deben alcanzar un valor conjunto de 290 kW; evidentemente, no se puede colocar un único aparato de aire para todo el local; ya que no solo porque no hay aparatos con tanta potencia, sino porque el aire no alcanzaría a todo el local.

Para ello, se va a estudiar el mercado de los aires acondicionados, con el objetivo de hallar el número apropiado de unidades refrigeradoras, además de hallar cual sería la posición más óptima en todo el edificio de boxes, ya sea para que el flujo de aire llegue a todos los puntos del local y que si únicamente se desea refrigerar un cierto número de boxes, puesto que probablemente no se usen todos a la vez, se pueda hacer empleando el mínimo número de aires.

Una primera aproximación que se podría hacer es la de dividir la potencia frigorífica total requerida entre 14 (un aparato por box); con lo que en principio se requeriría un aparato con una potencia frigorífica de $290/14 = 20.71 \approx 21$ kW por aparato de aire.

A nivel comercial no solo hay aparatos de diversas capacidades y precios, sino que también hay distintos modelos con diferentes colocaciones: de suelo, con descarga superior e inferior; de techo, con descarga vertical; de pared, con descarga horizontal y muchos más.

En el caso que nos atañe, al ser una zona en la que hay movimiento de grandes cargas como vehículos y mucho movimiento debido a los trabajadores del box; únicamente se tendrán en cuenta aires acondicionados de techo, ya que permiten el enfriamiento del local sin obstaculizar el paso a los empleados o vehículos del edificio de boxes.

Aun así, habiéndonos restringido a aires de techo, el mercado es muy amplio con infinidad de diferentes ofertas; para ello hay que estudiar detalladamente las hojas de características proporcionadas por los fabricantes del aparato, al igual que el precio de compra del propio aparato. Los principales factores que hay que tener en cuenta al escoger un aire u otro son, para este caso concreto, la potencia frigorífica, puesto que necesitamos uno lo suficientemente potente para que con un justo número de ellos se pueda suplir la potencia de refrigeración total requerida. Otro factor importante a tener en cuenta el consumo eléctrico del aparato, puesto que a pesar de que la instalación de todos los aires va a consumir bastante electricidad, hay que tratar de reducir el consumo total de la instalación.

Para la elección del modelo de unidad que se empleará, se han consultado varios modelos de aires que se hallan en el mercado de frío industrial. Tras un estudio exhaustivo de varios modelos se ha decidido finalmente por el modelo GIA-DT3-200IX48 de la marca GIATSU con capacidad frigorífica de 20 kW, con el precio de 3187.26 € I.V.A. incluido, cuya ficha técnica puede hallarse

en el *Anexo 2: Hojas de características*; el valor de potencia frigorífica es ligeramente inferior a la total requerida, pero dicha potencia está considerada para cubrir la totalidad del espacio, el cual muy pocas veces llegará a estar al 100% de su capacidad, es decir, con todos los boxes ocupados al mismo tiempo.

7.4. Colocación de los aparatos y simulación del flujo del aire :

Una vez escogido el modelo a utilizar y el número de aires a instalar, el siguiente paso es el de tratar de situarlos de la forma más óptima posible; para ello habrá que colocarlos de modo que tengan el mayor alcance posible. Para ello se realizarán varias simulaciones del flujo de aire empleando el software Ansys Mechanical®, en ellas se estudiará el flujo del aire saliente de las unidades interiores de aire acondicionado para asegurarse que la distribución escogida es la más óptima posible, además de permitir que no todos los aparatos se tengan que usar si hay boxes que no se estén utilizando.

Para poder realizar la simulación del fluido primero se tendrá que crear un modelo del edificio de boxes a climatizar, para ello se empleará el software de Solid Works®; a continuación se muestra en las *Imágenes 7-3 y 7-4* la vista isométrica y la vista en planta del modelo 3D creado del edificio de boxes, las dimensiones del edificio son las mismas que las que se definieron en los planos del local; 84 metros de largo, 12 de ancho y 3.5 de alto. Además, se han separado los 14 boxes con líneas constructivas para facilitar la imagen mental del local. Cabe decir, que a pesar de que en este caso los boxes se hayan definido separados; tal y como se ha comentado anteriormente, no existe una separación física entre ellos; con lo que las simulaciones los flujos de aires pasarán de box a box sin ninguna oposición si esa es la dirección que el flujo toma.

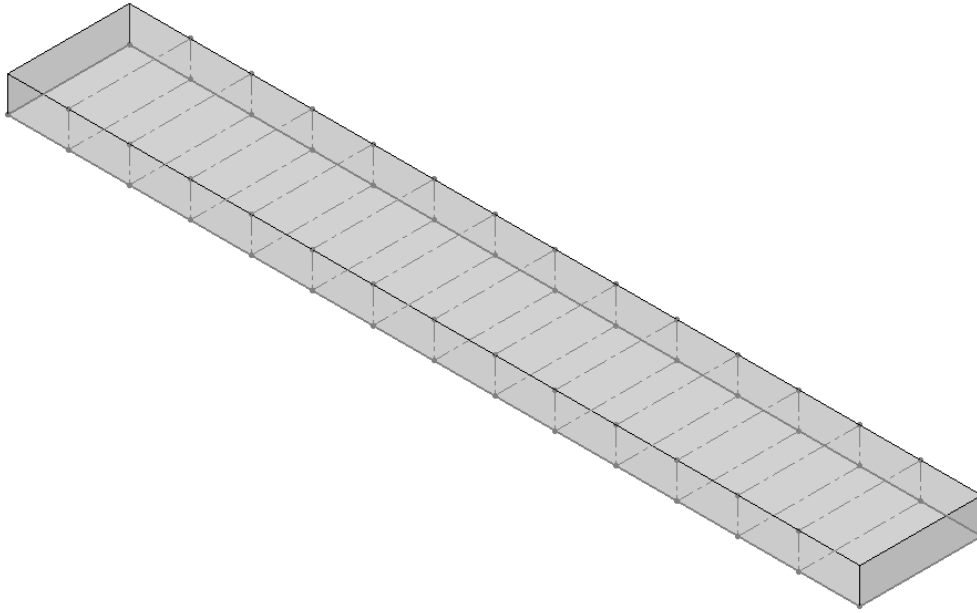


Imagen 7-3: Vista isométrica del modelo del edificio de boxes; con separación para cada box.

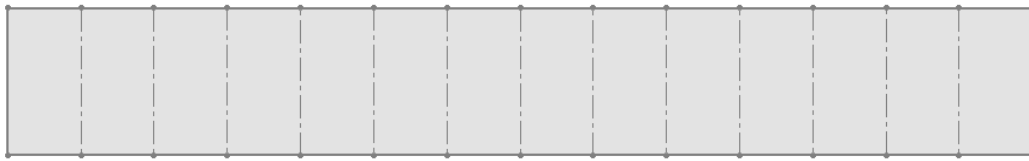


Imagen 7-4: Vista de planta del modelo del edificio de boxes; con separación para cada box.

Una vez definido el local hay que situar los aires acondicionados de la forma más óptima posible; para ello se crearán dos distribuciones de aires; en la primera se colocarán los aires en los lados norte y sur del edificio, de forma alternada en cada box; para ello se definirán pequeños prismas que harán la función de las unidades interiores de aire, por donde se definirá el flujo de entrada de aire cuando se haga la simulación. Dichos prismas tendrán un tamaño estandarizado de $140 \times 24.5 \times 80$ cm y se situarán en la mitad de cada box a 20 cm del techo; tal y como se muestra en las *Imágenes 7-5 y 7-6*.

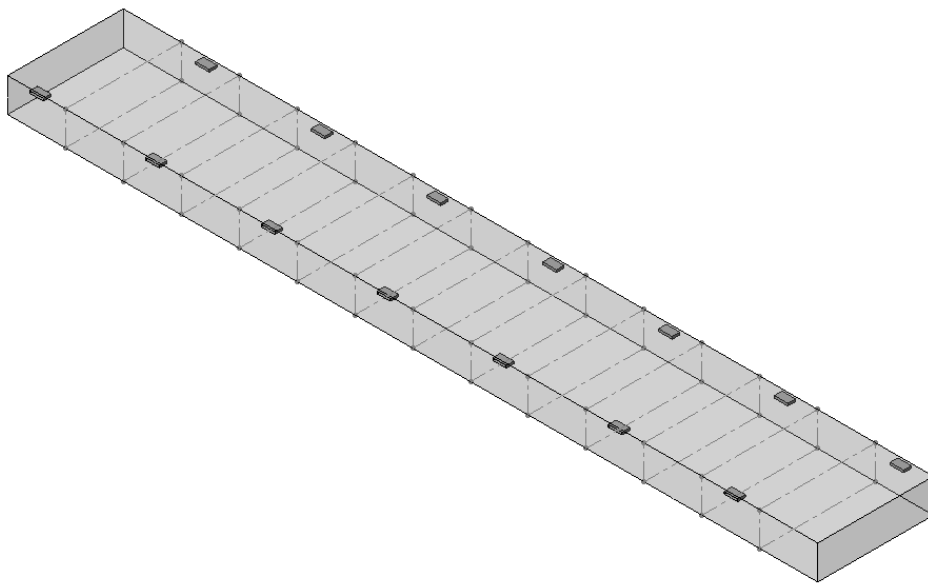


Imagen 7-5: Vista isométrica de la distribución 1 de los aires acondicionados.

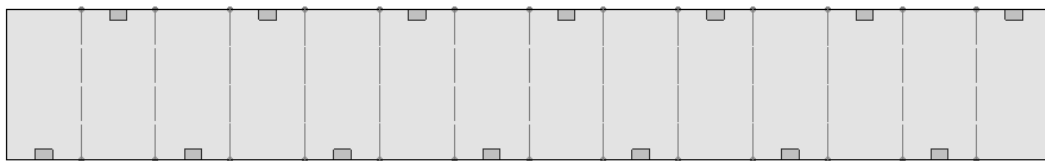


Imagen 7-6: Vista de planta de la distribución 1 de los aires acondicionados.

Para realizar la simulación, se empleará, tal y como se ha dicho antes el software Ansys Workbench para simular fluidos; el proceso para ambos casos es idéntico, pero para que no resulte repetitivo únicamente se explicará el del primer caso definido.

El primer paso que hay que realizar es el de la definición del mallado del local, puesto que la el método de estudio que se empleará será la de la resolución de las ecuaciones del fluido mediante elementos finitos, y para ello hay que realizar un mallado del dominio de estudio. Cabe comentar que esto es un estudio únicamente cualitativo, para confirmar que realmente el flujo del aire llega a todos los lugares del local, con lo que tampoco se requerirá un mallado tan exhaustivo como lo sería para otras simulaciones de fluidos; a continuación se muestra en la *Imagen 7-7*, el mallado final obtenido:

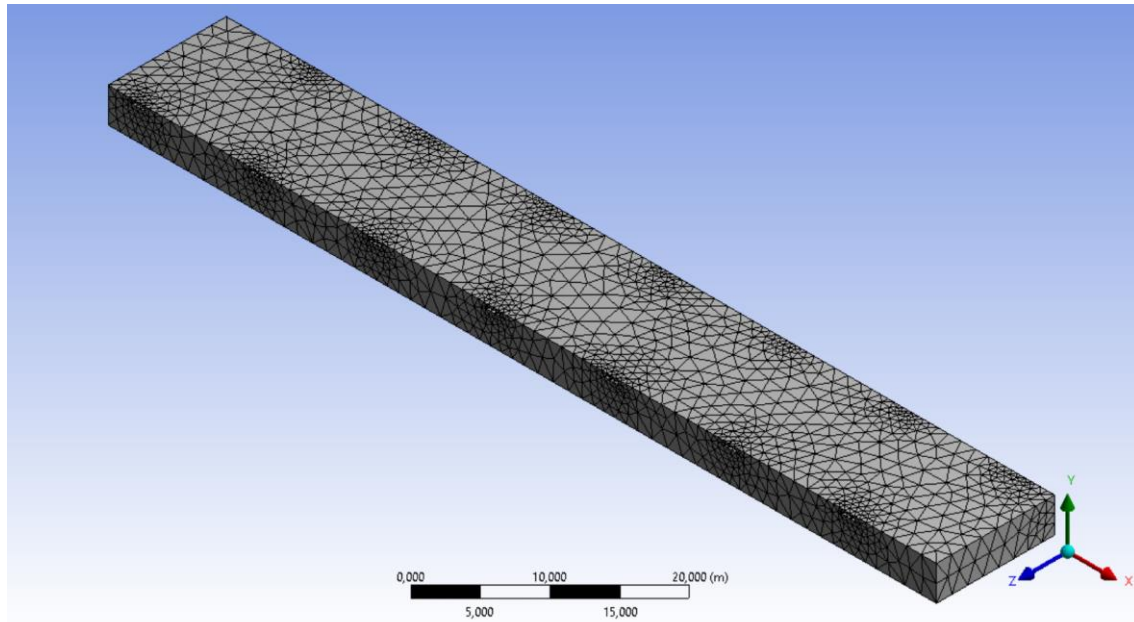


Imagen 7-7: Mallado de la distribución 1 de aires acondicionados.

Una vez definido el mallado del modelo, el siguiente paso es el de definir las entradas de aire; para esta simulación se empleará una salida de aire de 3 m/s; en un primer caso se definirá la entrada de aire para cada aparato, para simular el caso de que todos los aparatos funcionen a la vez. Después se realizará la misma simulación solo con algunos aires aleatoriamente seleccionados para simular una situación de trabajo normal.

Otro dato importante a mencionar es que únicamente se consideraran las unidades interiores del aire como entradas y no se considerará el flujo que pudiera entrar por las puertas del edificio de boxes; puesto que se considera que si se emplea el aire acondicionado se trata siempre de mantener el local que se enfría cerrado para no perder el frío que se genera.

Tras la definición de las condiciones de la simulación se procederá al análisis de los resultados; tal y como se ha ido comentando únicamente interesa el estudio del flujo del aire, es decir, de las líneas de flujo de la velocidad, una línea de flujo es el camino trazado por las partículas que se mueven con el fluido, en este caso aire; como las líneas de flujo son tangentes a la trayectoria de las partículas en movimiento, en cada punto la velocidad es tangente al camino.

En la *Imagen 7-8* presentada a continuación se pueden observar las líneas de flujo que salen a través de los aires; se puede apreciar que a medida que las líneas de flujo se van desarrollando tras salir de la unidad van perdiendo velocidad hasta quedarse detenidas tras un tiempo. Un dato curioso que se puede apreciar es que las líneas de flujo van girando en forma de espiral en cada pareja de boxes centrándose en medio de los dos boxes.

Se puede observar que el flujo de aire llega correctamente a todos los puntos de la estancia.

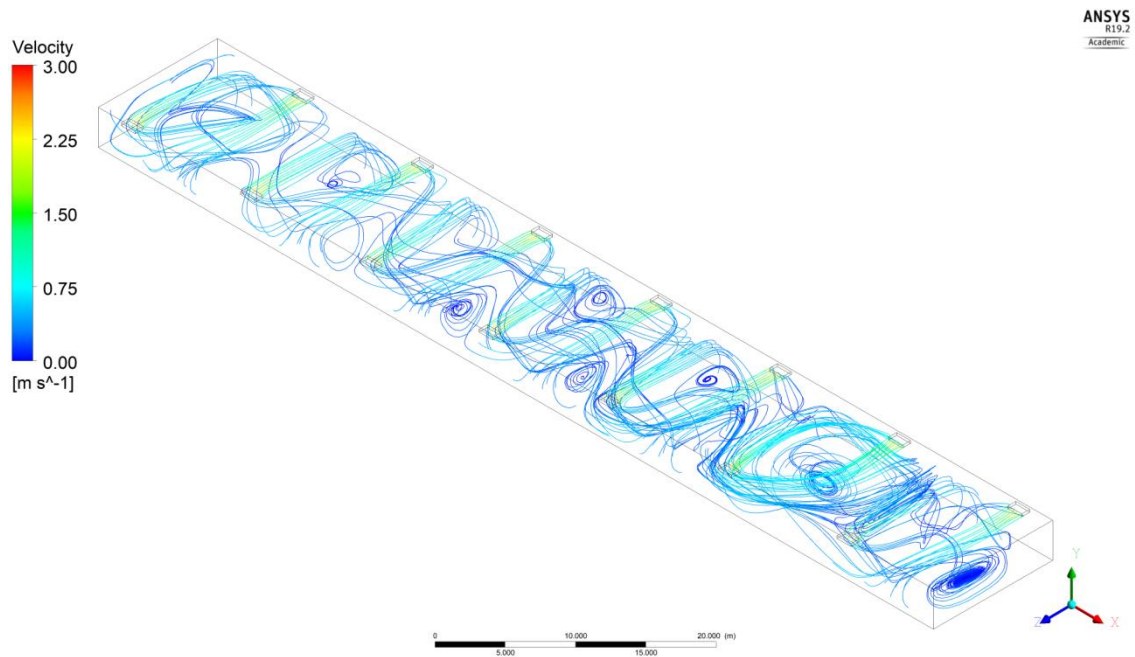


Imagen 7-8: Representación de las líneas de flujo de velocidad en el interior del edificio según la distribución 1 de aires acondicionados.

A continuación, se observará un caso particular en el que únicamente un cierto número de boxes están ocupados y, por ende, solo se utilizan los aires correspondientes a los boxes en los que hay empleados trabajando. En este caso se han tomado los boxes número 1, 2, 4, 7, 8, 9, 12 y 14 como los ocupados. Para realizar la simulación de este caso únicamente hay que editar las entradas de aires definidas en la simulación anterior y cambiar que en vez de que todos los aires actúen como entradas, solo lo hagan unos en concreto. A continuación se puede observar en la *Imagen 7-9* la distribución de las líneas de flujo de la simulación.

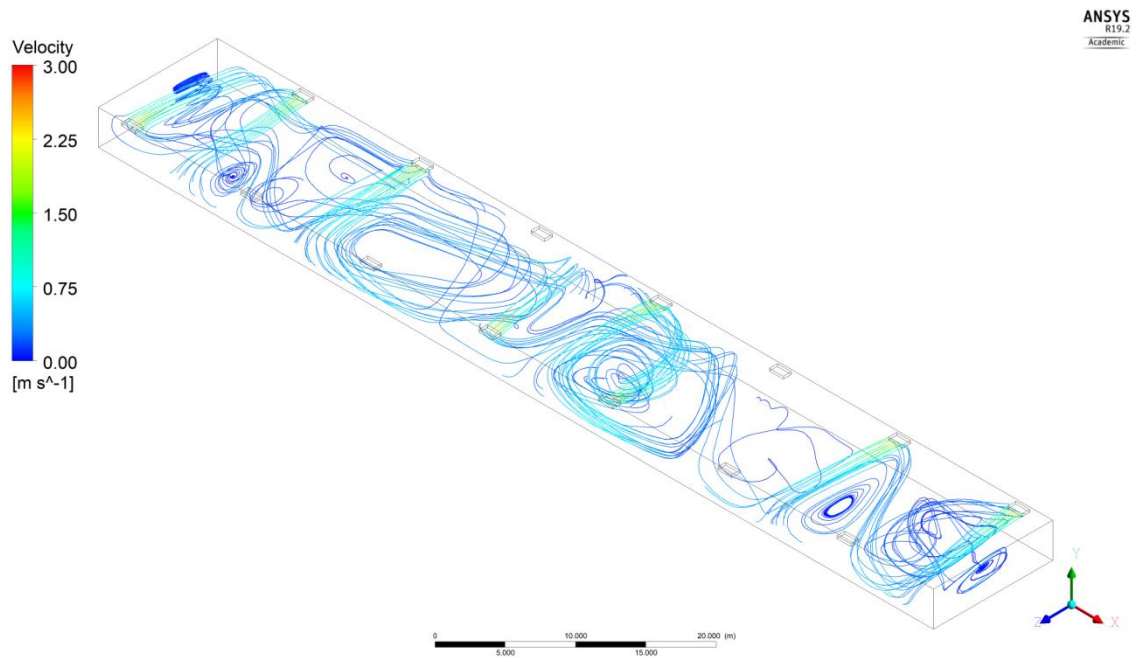


Imagen 7-9: Representación de las líneas de flujo de velocidad en el interior del edificio según la distribución 1 de aires acondicionados de los boxes 1, 2, 4, 7, 8, 9, 12 y 14.

Tal y como se puede observar, las líneas de flujo cubren los boxes en los que se está trabajando, afectando mínimamente a los que no están siendo ocupados, optimizando el uso de los aires dentro del local.

Otra posible distribución que permitiría una buena circulación sería la de colocar los aires en los lados orientales y occidentales del local, uno por box, véanse las *Imágenes 7-10 y 7-11*; a priori esta segunda opción parece ser que permitiría una mejor circulación del aire, puesto que el aire del box anterior permitiría empujar al del siguiente.

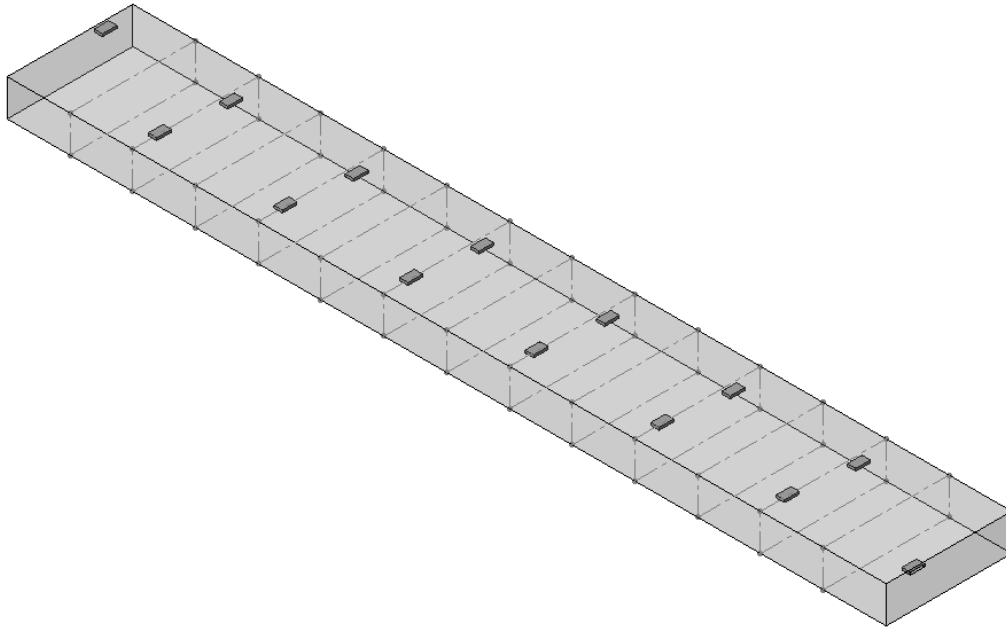


Imagen 7-10: Vista isométrica de la distribución 2 de los aires acondicionados.

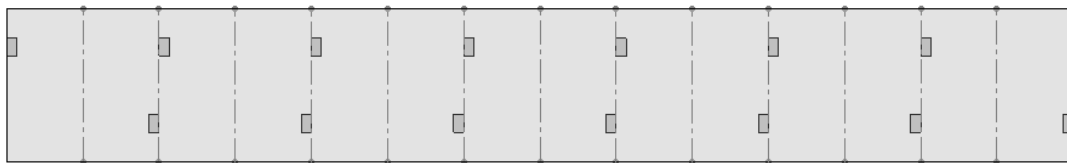


Imagen 7-11: Vista de planta de la distribución 2 de los aires acondicionados.

Del mismo modo que se ha procedido en la simulación anterior, primero se define el mallado del modelo, después se definen las entradas de aire, para cada unidad interior y posteriormente se ejecuta la simulación. Finalmente se obtienen las líneas de flujo que se pueden observar en la *Imagen 7-12*.

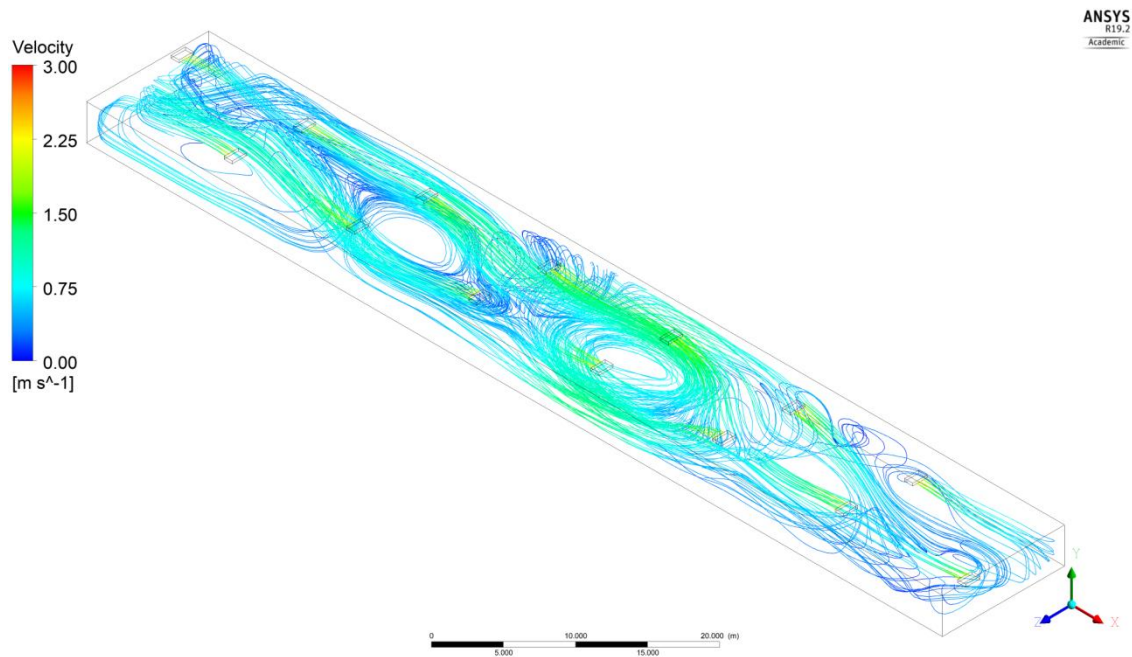


Imagen 7-12: Representación de las líneas de flujo de velocidad en el interior del edificio según la distribución 2 de aires acondicionados.

Tal y como se puede observar, el flujo de aire en este caso parece llegar con más intensidad a la zona de trabajo (alrededor de 1.2 m/s respecto a los 0.6 m/s del caso anterior); esto que a priori pueda parecer una mejora respecto al caso anterior, puesto que al haber más corriente se notará menos el calor; puede acarrear varios problemas: en primer lugar una corriente excesiva puede incomodar e incluso mermar a los empleados, otro inconveniente sería el de que tal y como se puede ver se generan dos vórtices en el centro del edificio con velocidades bastante altas mientras que para los extremos el flujo llega bastante débilmente; con lo que se puede considerar un flujo bastante irregular dependiendo de donde se trabaje.

Si a continuación se repite el caso particular del modelo anterior, en el que únicamente funcionen ciertos aires, se supondrán que únicamente funcionan los aires correspondientes a los boxes 1, 2, 4, 6, 7, 8, 12 y 14; tras esto se ejecuta la simulación y se procede a estudiar los resultados observables en la *Imagen 7-13*:

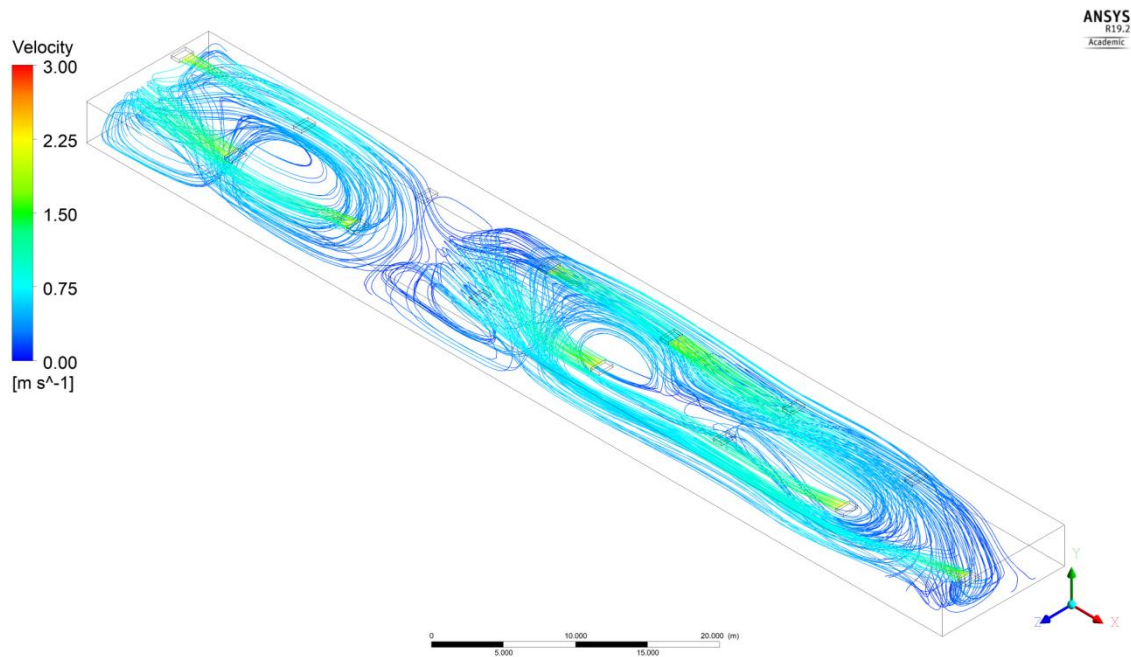


Imagen 7-13: Representación de las líneas de flujo de velocidad en el interior del edificio según la distribución 2 de aires acondicionados de los boxes 1, 2, 4, 7, 8, 9, 12 y 14.

Tal y como se puede observar nuevamente los flujos de aire llegan con mayor intensidad a la sala, aunque también se puede ver que algunos boxes que se usan no están completamente refrigerados (únicamente la mitad de ellos) mientras que otros que no se emplean quedan también parcialmente refrigerados.

Cabe comentar, que el mayor problema que presenta este segundo modelo es la dificultad de colocación de los aires, puesto que tal y como se ha comentado anteriormente no hay paredes que separen los boxes entre ellos, con lo que la colocación de los aires se complica mucho más; haciendo que esta segunda opción sea menos viable que la anterior.

7.5. Selección de la mejor opción y estudio de alternativas:

Tras el estudio de mercado y las simulaciones realizadas anteriormente se puede concluir que la forma óptima de climatizar el local mediante aires acondicionados sería la de emplear 14 unidades de aire acondicionado GIA-DT3-200IX48 situándolos una unidad por box tal y como se puede observar en la *Imagen 7-5*.

Aun así, observando el precio total de dicha inversión, que aumentaría a los $14 * 3187.26 = 47746.16$ € únicamente en los aparatos de aire; (hace falta sumar todos los costes de tuberías de aire, instalación y transporte) resulta ser bastante costosa; por no hablar del gran consumo energético que supondría, puesto que cada unidad consume alrededor de 7.85 kW; multiplicando esto por las 14 unidades y por 10 horas diarias que se estaría trabajando en el local, el consumo

energético diario ascendería a los 1100 kWh por día; esto a un precio medio de energía de 0.1 €/kWh da un coste total de 110 €/día únicamente en el uso de los aires acondicionados; teniendo en cuenta que se emplearía el aire durante aproximadamente 4 meses (Junio – Septiembre) el coste total asciende a los 13200 €; un precio que resulta bastante caro para el único propósito de enfriar un local.

Para tratar de reducir este gasto, se procederá a estudiar diversas alternativas, que pueden resultar igual de efectivas y mucho más baratas, tanto como en inversión inicial como en coste energético.

Tal y como se ha comentado al inicio de este proyecto el objetivo de todo este estudio es el hacer que los empleados no estén afectados por el calor que puede haber en el edificio de boxes durante el verano; con lo que la primera idea, la cual se ha estudiado es la de refrigerar el local. Aun así, existe otro modo de “enfriar” al trabajador sin necesidad de bajar la temperatura del local; que es reducir la sensación térmica del trabajador mediante el movimiento del aire del local empleando ventiladores de techo.

Esta idea, se emplea en la actualidad en varios lugares de alta frecuencia como por ejemplo en la terminal 2 del aeropuerto del Prat; con lo que merece la pena ser estudiado para considerar su viabilidad.

8. Refrigeración mediante ventiladores de aspas de techo:

8.1. Sensación térmica; definición y física:

Tal y como se ha comentado anteriormente, el enfriar el aire de un local no es la única forma de hacer que se note una bajada de temperatura; también se puede tratar de reducir la temperatura de un local mediante la reducción de la sensación térmica. La sensación térmica, es la reacción del cuerpo humano a las condiciones ambientales que rodean a la persona. Normalmente se dice que hace frío o calor en función de la temperatura que marca un termómetro, si éste marca 5 grados Celsius decimos que hace frío, si marca 30 decimos que hace calor. Pero no únicamente la temperatura determina si una persona siente frío o calor, hay otros parámetros que también influyen en este hecho, uno de ellos es, en importante medida la velocidad del aire.

Dicha velocidad puede hacer variar la temperatura que una persona nota en gran medida en función de las condiciones externas; tal y cómo se puede ver en la *Imagen 8-1*; la velocidad del viento influye en gran medida a la sensación que una persona puede sentir. Esto es especialmente notorio en temperaturas bajas, puesto que pueden hacer que la persona afectada coja hipotermia mucho más rápidamente.

Viento en Nudos	Viento en Km/h	TEMPERATURA (°C)																									
Calma	Calma	10	7.5	5	2.5	0	-2.5	-5	-7.5	-10	-12.5	-15	-17.5	-20	-22.5	-25	-27.5	-30	-32.5	-35	-37.5	-40	-42.5	-45	-47.5	-50	
Sensación térmica por efecto de enfriamiento del viento																											
3-6	8	7.5	5	2.5	0	-2.5	-5	-7.5	-10	-12.5	-15	-17.5	-20	-22.5	-25	-27.5	-30	-32.5	-35	-37.5	-40	-45	-47.5	-50	-52.5	-65	
7-5	16	5	2.5	-2.5	-5	-7.5	-10	-12.5	-15	-17.5	-20	-25	-27.5	-32.5	-35	-37.5	-40	-45	-47.5	-50	-52.5	-57.5	-60	62.5	-65	-67.5	
11-15	24	2.5	0	-5	-7.5	-10	-12.5	-17.5	-20	-25	-27.5	-32.5	-35	-37.5	-42.5	-45	-47.5	-52.5	-55	-57.5	-60	-65	-67.5	-72.5	-75	-77.5	
16-19	32	0	-2.5	-7.5	-10	-12.5	-17.5	-22.5	-25	-30	-35	-37.5	-42.5	-47.5	-50	-52.5	-57.5	-60	-65	-67.5	-70	-72.5	-77.5	-80	-85		
20-23	40	-0	-5	-7.5	-10	-15	-17.5	-22.5	-25	-30	-32.5	-37.5	-40	-45	-47.5	-52.5	-55	-60	-62.5	-67.5	-70	-75	-77.5	-82.5	-85	-90	
24-28	48	-2.5	-5	-10	-12.5	-17.5	-20	-25	-27.5	-32.5	-35	-40	-42.5	-47.5	-50	-55	-57.5	-62.5	-67.5	-72.5	-75	-77.5	-80	-85	-90	-95	
29-32	56	-2.5	-7.5	-10	-12.5	-17.5	-20	-25	-30	-32.5	-37.5	-42.5	-45	-50	-52.5	-57.5	-60	-65	-67.5	-72.5	-75	-80	-82.5	-87.5	-90	-95	
33-36	64	-2.5	-7.5	-10	-15	-20	-22.5	-27.5	-30	-35	-37.5	-42.5	-45	-50	-55	-60	-62.5	-65	-70	-75	-75.5	-82.5	-85	-90	-92.5	-97.5	
Vientos superiores a los 64 km/h producen un peligroso efecto adicional	PELIGROSO					MUY PELIGROSO										EXTREMADAMENTE PELIGROSO Las partes del cuerpo expuestas al viento se pueden congelar en 30 segundos											
						Las partes del cuerpo expuestas al viento se pueden congelar en 1 minuto																					
	PELIGRO DE CONGELAMIENTO DEL CUERPO HUMANO EXPUESTO AL VIENTO SIN LA APROPIADA VESTIMENTA																										

Imagen 8-1: Relación entre la velocidad del viento, la temperatura y la sensación térmica.

Aun así, la sensación térmica no afecta únicamente a las temperaturas frías; sino que también pueden llegar a modificar temperaturas cálidas, haciendo que la sensación térmica sea mayor o menor de la que realmente es.

Al tratar de reducir la temperatura de sensación térmica, hay que tener en cuenta que si la temperatura exterior del ambiente es menor que la de la piel (32 °C); el viento reducirá la temperatura, en cambio, si la temperatura es mayor, la aumentará.

8.2. Ventiladores de techo:

8.2.1. Funcionamiento:

Un ventilador de techo es un dispositivo de ventilación que permite reducir la sensación térmica de un local a un bajo coste. Un ventilador de aspas no enfría el local, sino a la persona. Esto es debido al hecho que una persona tiene cuatro modos de enfriarse: evaporación, convección, radiación y conducción. Los ventiladores de techo ayudan en los dos primeros casos. Esto es debido a que los procesos mencionados se ven afectados por varios parámetros ambientales: humedad, temperatura ambiente y velocidad del aire.

La velocidad del aire es donde principalmente influye un ventilador de aspas, puesto que una corriente de aire en la piel favorece la pérdida de calor debido a la evaporación. El término por el que se conoce a este efecto es el “windchill effect” hecho que puede llegar a causar congelaciones a temperaturas bajas pero que en altas temperaturas proporciona una agradable sensación.

Es por esto que los ventiladores de techo son una buena idea para enfriar locales cuyas temperaturas no son excesivamente grandes (alrededor de 30 °C máximos). Para temperaturas mayores se pueden combinar con aparatos de aire acondicionado para lograr el enfriamiento deseado y a la vez ahorrar energía.

Más características de dichos motores son la ausencia de sequedad del ambiente que los aparatos de aire acondicionado causan, una muy fácil instalación y además pueden hacer las funciones de repelente de insectos (gracias a las corrientes de aire que genera).

Los ventiladores de techo tienen un gran número de ventajas respecto a otros sistemas de refrigeración, siendo el primero y más importante su bajo consumo, y aún más bajo si se compara con los aires acondicionados, llegando a consumir entre 20 y 60 vatios por unidad, e incluso menos si se emplean modelos más concretos motores de CA en corriente continua.

Otra ventaja a tener en cuenta de los ventiladores es que ayudan a homogeneizar la temperatura del lugar; ya que al ser el aire caliente menos denso que el frío se produce el fenómeno conocido como estratificación del aire, en el cual la temperatura a ras de suelo es inferior que a cierta altura. Esto es un inconveniente tanto en verano como en invierno, ya que según el momento se

desea que el aire frío suba o el caliente baje. El hecho que el ventilador de techo fuerza la circulación del aire en el local, se logra una homogeneización de la temperatura del lugar.

El mecanismo de funcionamiento de un ventilador es muy simple; un motor hace girar unas palas y estas mueven el aire, pero dependiendo del sentido de giro de estas la función del ventilador cambia radicalmente. Es lo que se conoce como modo verano o modo invierno, usualmente, en verano el objetivo del ventilador es el de proporcionar una brisa que aporte frescor, con lo que el ventilador impulsa el aire hacia abajo para poder crearla. En cambio, en invierno se desea que el aire caliente que se halla en el techo baje con lo que al invertir el sentido de giro de las aspas se logra que el aire caliente que se encuentra en la parte superior del local baje por las paredes del lugar y caliente la habitación sin crear molestia.

En las *Imágenes 8-2 y 8-3* se puede observar como fluye el aire según el modo en el que esté funcionando el ventilador.

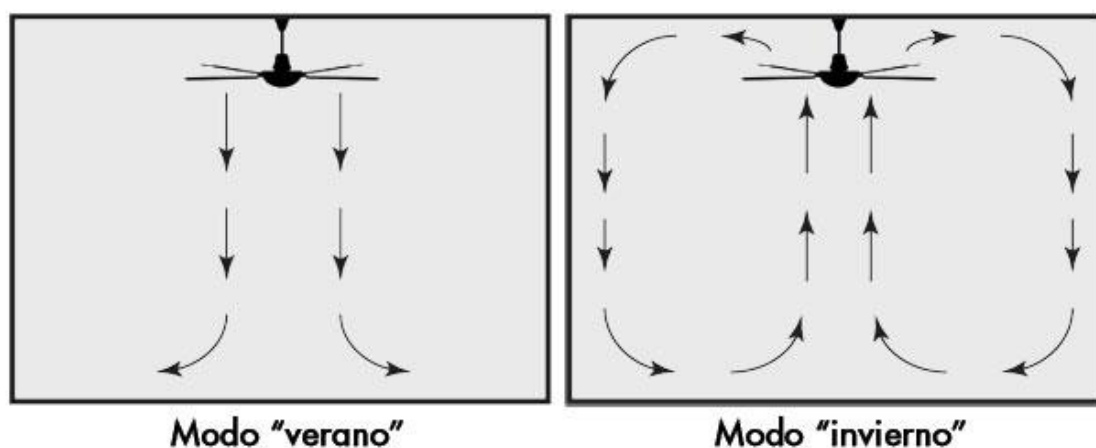


Imagen 8-2: Circulación del aire para los diferentes modos de funcionamiento del ventilador.



Imagen 8-3: Movimiento de las aspas para los diferentes modos de funcionamiento del ventilador.

Pese a esto, como el objetivo del trabajo es únicamente refrigerar el local, solo se tendrá en cuenta el modo verano al realizar las simulaciones del aire; es decir, que el flujo de aire al simular se orientará hacia el suelo.

8.3. Estudio de mercado de ventiladores de techos:

Al igual que se ha realizado con los aires acondicionados, se van a estudiar las distintas ofertas que hay en el mercado de ventiladores industriales de aspas. Aun así, en este caso no se tendrá en cuenta la potencia frigorífica estudiada en el apartado de carga térmica, debido a que, tal y como se ha comentado anteriormente la forma de enfriar el ambiente de los ventiladores no es a través de reducir la temperatura del local, sino que logra reducir la sensación térmica gracias al movimiento del aire.

Debido a esto, no se puede realizar una aproximación del número de ventiladores requeridos según la potencia frigorífica que emiten, puesto que no emiten potencia alguna. El modo por el que se determinará el número de ventiladores y el modelo será mediante el estudio de las fichas técnicas de los ventiladores; en las que se detalla su consumo, su velocidad máxima de rotación y, como dato más relevante para la elección, la superficie que cubren.

Tal y como ocurre con los aires acondicionados, el mercado de ventiladores es muy amplio y hay una gran variedad de modelos para escoger. En este caso se ha decantado por la búsqueda de ventiladores del estilo HVLS (High-Volume Low-Speed); estos ventiladores están diseñados para ser instalados en techos de naves industriales y grandes edificios, esta tecnología se caracteriza por el movimiento de grandes cantidades de aire a muy bajas revoluciones, debido a sus enormes aspas. Estos modelos de ventiladores son capaces de lograr reducciones de temperaturas de sensación de hasta 6 °C; hecho que resulta ideal para el objetivo de este trabajo, puesto que permitiría pasar de una temperatura exterior de 28.8 °C a una sensación de alrededor de 23 °C.

Finalmente, tras un estudio exhaustivo de diferentes modelos de ventilador se ha optado por escoger el modelo de ventilador HVLS-ECO AC 1PH 200-240V 50/60Hz de 8 pies (2.45 m) de diámetro con barra de extensión estándar de 2 pies (0.61 m); con un consumo total de 0.466 kW y un área efectiva de 95.06 m². En cuanto al precio, su coste se halla alrededor de los 1300 € por unidad, costando menos de la mitad del precio del aparato de aire acondicionado escogido en el apartado anterior.

Cabe destacar que los ventiladores de techo son aparatos con un consumo muchísimo menor que los aparatos de aire acondicionado; aun así, su tamaño es también mucho mayor, usualmente alrededor de los 2 metros de diámetro, con lo que la elección y colocación de un ventilador de estas dimensiones no debe ser tomado a la ligera.

8.4. Colocación de los aparatos y simulación del flujo del aire:

Del mismo modo que se ha realizado con los aires acondicionados, se realizará una simulación del local, nuevamente empleando el mismo modelo del edificio que se utilizó para el caso anterior, pero en vez de emplear prismas a los lados del local para representar los aires, se emplearán cilindros desde el techo que harán las funciones de la salida de aire de las aspas del ventilador.

El motivo de emplear cilindros para simular las corrientes de aire generadas se debe principalmente a dos factores: el primero es el de que simular el comportamiento de las aspas de un ventilador, al igual que su giro, es una tarea de tal magnitud que podría considerarse como un proyecto de fin de carrera independiente; puesto que no únicamente habría que simular el comportamiento de las diferentes palas con mallados que fueran variando con el tiempo, sino que también haría falta un software extremadamente potente para realizar dichos cálculos. El segundo motivo por el cual definir cilindros es el de que los procesos de definición del flujo son mucho más simples de este modo, puesto que únicamente hay que determinar la velocidad a la que saldrá el aire de las palas, la cual se puede hallar fácilmente si se conocen las dimensiones del ventilador y su velocidad de rotación máxima.

En el caso de estas simulaciones se empleará una velocidad de salida del aire de 3 m/s; la misma empleada en las simulaciones del aire acondicionado, para comprobar el nuevo alcance bajo condiciones similares de flujo.

En este apartado, nuevamente se simularán dos posibles distribuciones de ventiladores posibles; la primera será la colocación de 14 ventiladores, uno por box, en el centro de este; a 3 metros de los lados orientales y occidentales del local (considerando las paredes imaginarias que separarían cada box) y a 6 metros de los lados norte y sur, tal y como se muestra en las *Imágenes 8-4 y 8-5* mostradas a continuación.

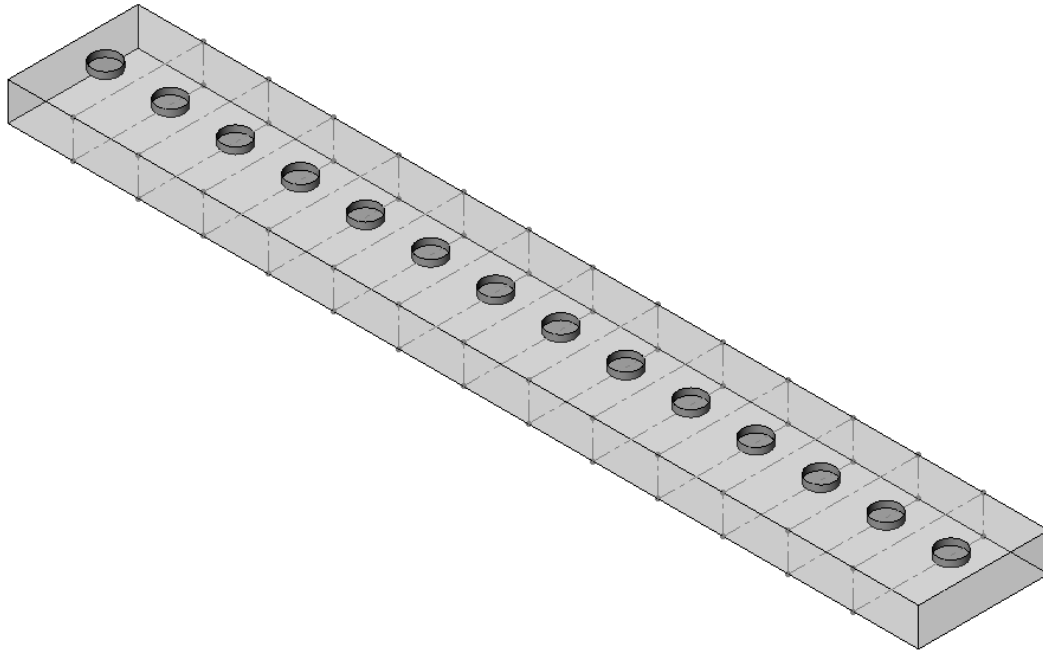


Imagen 8-4: Vista isométrica de la distribución 1 de los ventiladores de techo.

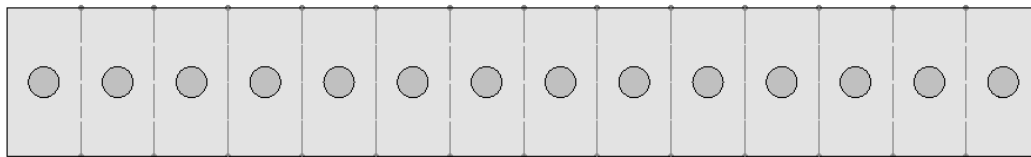


Imagen 8-5: Vista de planta de la distribución 2 de los ventiladores de techo.

Al igual que se realizó con los aires, para realizar la simulación de los ventiladores, primero hay que mallar el dominio de estudio y definir las entradas de aires en cada uno de los ventiladores a 3 m/s.

A continuación se muestra en la *Imagen 8-6* el mallado del nuevo dominio creado:

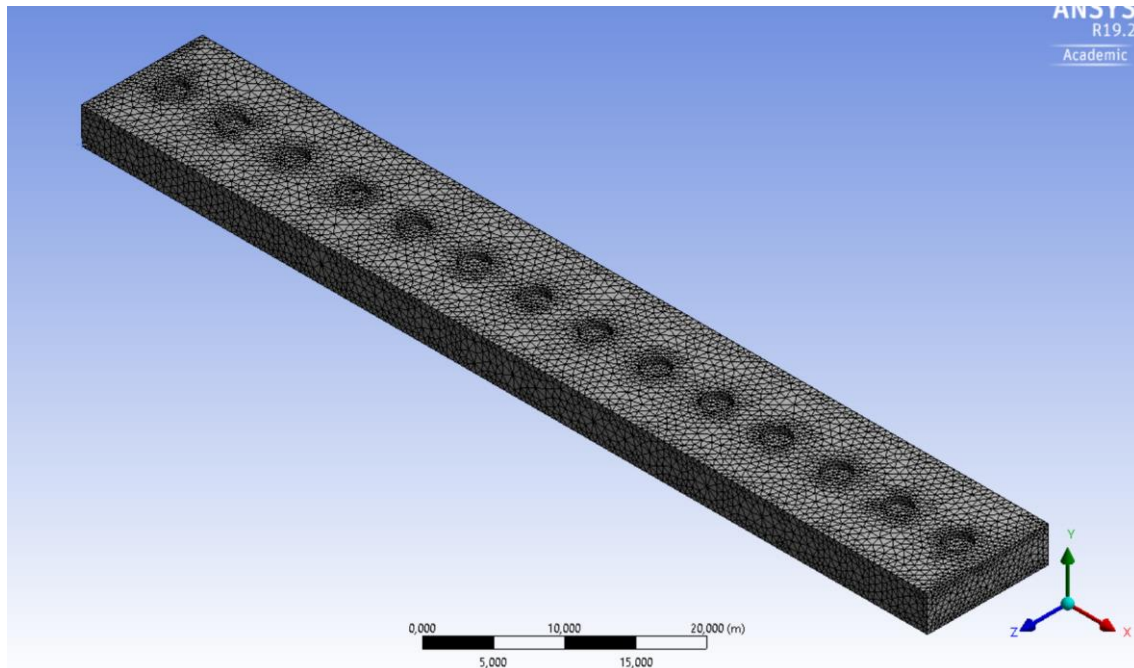


Imagen 8-6: Mallado de la distribución 1 de ventiladores de techo.

Tras la definición de todas las condiciones y ejecución de la resolución del modelo, podemos estudiar el comportamiento de las líneas de flujo de la velocidad, al igual que se hizo anteriormente en el caso de los aires. En la siguiente *Imagen 8-7* se puede observar el comportamiento de las líneas de flujo cuando todos los ventiladores se hallan en funcionamiento:

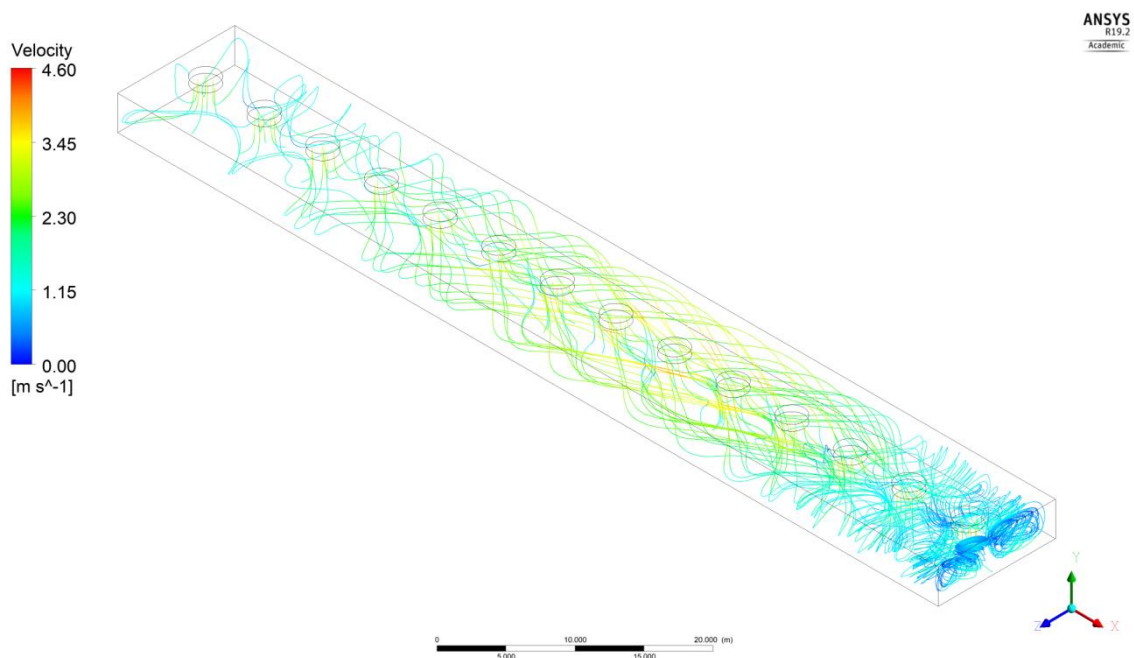


Imagen 8-7: Representación de las líneas de flujo de velocidad en el interior del edificio según la distribución 1 de ventiladores.

Al observar el resultado de la simulación parece que todas las líneas de flujo tienden ir hacia la parte inferior del edificio (el lado más occidental, o el box número 14). Este dato puede resultar un tanto desconcertante puesto que tal y como se ha comentado en el apartado teórico de este punto, los ventiladores tienden a hacer recircular el aire nuevamente hacia arriba una vez llegado al suelo, y en este caso el aire parece ser conducido hacia un lateral del edificio.

Este hecho tiene una justificación; tal y como se puede observar, hay líneas de flujo que no han sido definidas completamente (véanse los ventiladores 1 y 2, situados a la izquierda del diagrama); dichas líneas no han sido completadas debido a que los recursos destinados a la simulación son limitados y el programa únicamente puede simular un cierto número de líneas.

Aun así, si se trata de simular únicamente algún ventilador en funcionamiento se podrá ver que las líneas de flujo se comportan realmente como describe la teoría, tal y como se puede ver en la *Imagen 8-8*, en la que se han simulado únicamente dos ventiladores lo suficientemente alejados para que no influyan entre ellos:

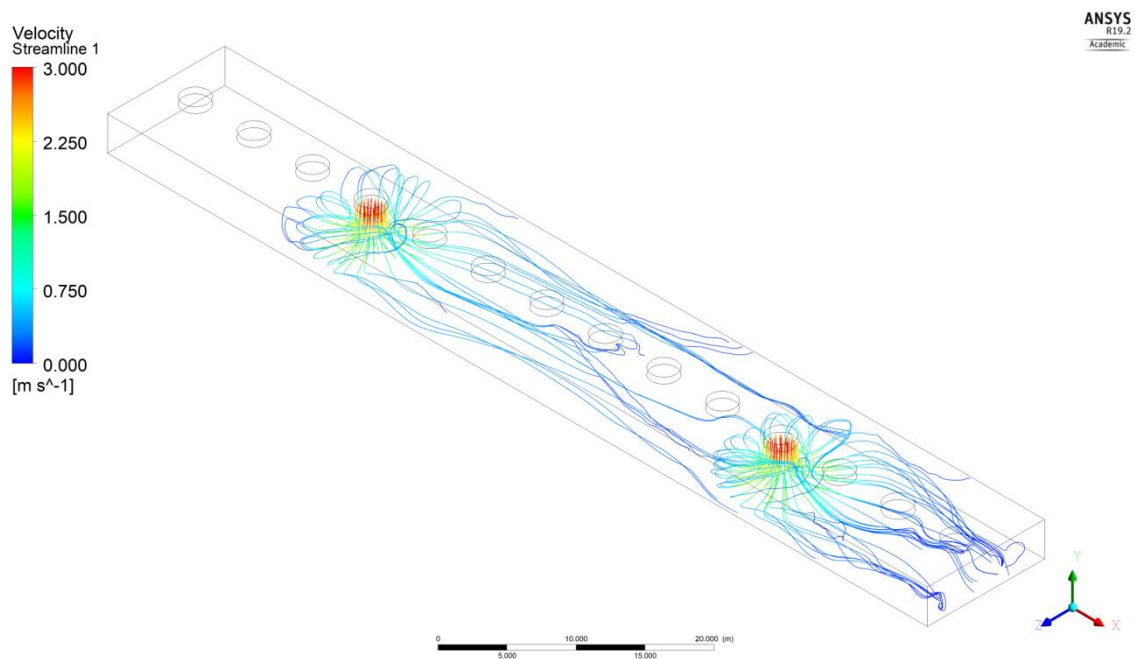


Imagen 8-8: Representación de las líneas de flujo de velocidad en el interior del edificio según la distribución 1 de ventiladores de dos ventiladores.

Nuevamente se puede observar que el flujo de aire tiende a ir hacia un extremo del local, pero dichas velocidades son del orden de mm/s, los cuales pueden considerarse despreciables

comparándolas con el resto. En este caso se puede observar que el comportamiento de las líneas de flujo se corresponde con las explicadas en la teoría.

Se puede observar que los puntos en los que hay más ventilación son los más centrales, puesto que tienen un mayor número de ventiladores obteniendo velocidades de alrededor de 2.3 m/s mientras que las esquinas obtienen velocidades de 1.2 m/s; dichas velocidades son mayores que las obtenidas mediante aires acondicionados; implicando una mayor ventilación y renovación de aire.

Otro hecho que puede llamar la atención es el de que se obtienen velocidades del aire mayores que las de salida, obteniendo valores máximos de alrededor de 4.6 m/s; esto es un hecho que se puede considerar positivo, puesto que muestra que con la acumulación de ventiladores se pueden lograr velocidades mayores que las que proporciona un ventilador por sí solo.

Al igual que se hizo con los aires, se puede simular el comportamiento de los ventiladores para cuando únicamente un cierto número de boxes esté funcionando. A continuación se muestra en la *Imagen 8-9*, el comportamiento del aire cuando únicamente funcionan los ventiladores de los boxes 1, 2, 4, 7, 8, 9, 12 y 14.

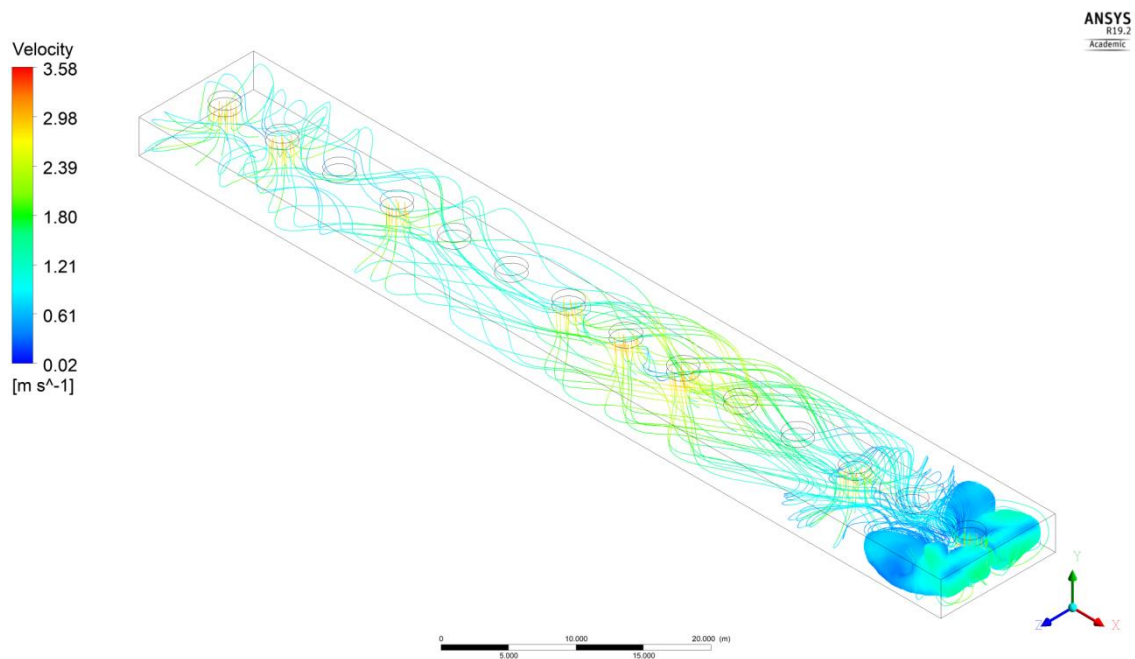


Imagen 8-9: Representación de las líneas de flujo de velocidad en el interior del edificio según la distribución 1 de ventiladores de los boxes 1, 2, 4, 7, 8, 9, 12 y 14.

En este caso nuevamente se puede observar que las líneas tienden hacia el lado derecho, aun así, el perfil teórico de la velocidad ventilador se puede apreciar claramente; cabe destacar que en los boxes que tienen ventiladores contiguos que también están encendidos experimentan una mayor

velocidad del aire que los que se hallan más separados, como ocurre en los boxes 7, 8 y 9 cuyas velocidades son mayores que en el box número 4 por ejemplo. Aun así la distribución de aire para los boxes que se hallan en ocupación es completa, proporcionando incluso una ligera ventilación a boxes desocupados a coste nulo (puesto que su respectivo ventilador no está encendido).

Al igual que anteriormente, se ha estudiado una segunda distribución de aires situando los ventiladores alternadamente a 3 metros de las paredes norte y sur tal y como se puede observar en las *Imágenes 8-10 y 8-11*.

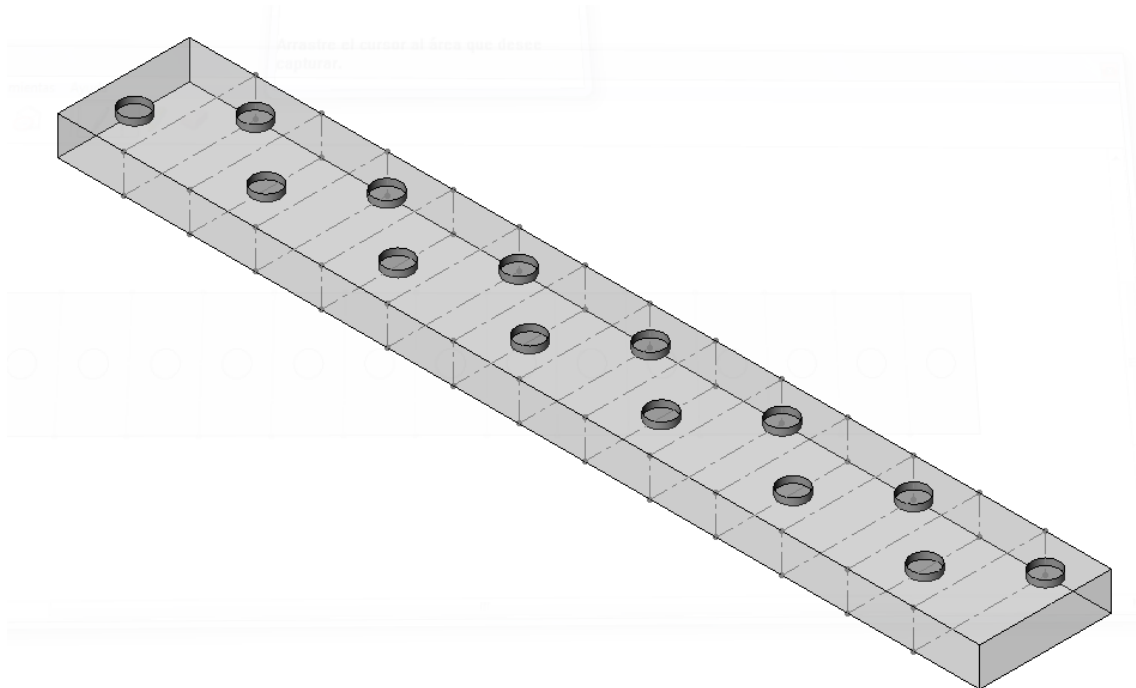


Imagen 8-10: Vista isométrica de la distribución 2 de los ventiladores de techo

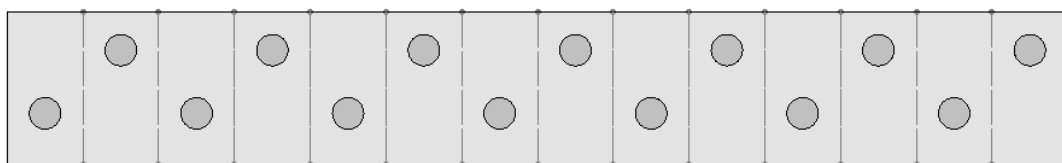


Imagen 8-11: Vista de planta de la distribución 2 de los ventiladores de techo

En cuanto a la simulación, el procedimiento es el mismo que se ha realizado anteriormente; mallado, entradas de aire a 3 m/s y resolución del modelo. Una vez finaliza el solucionador del modelo, se obtiene el resultado final, observable en la *Imagen 8-12*.

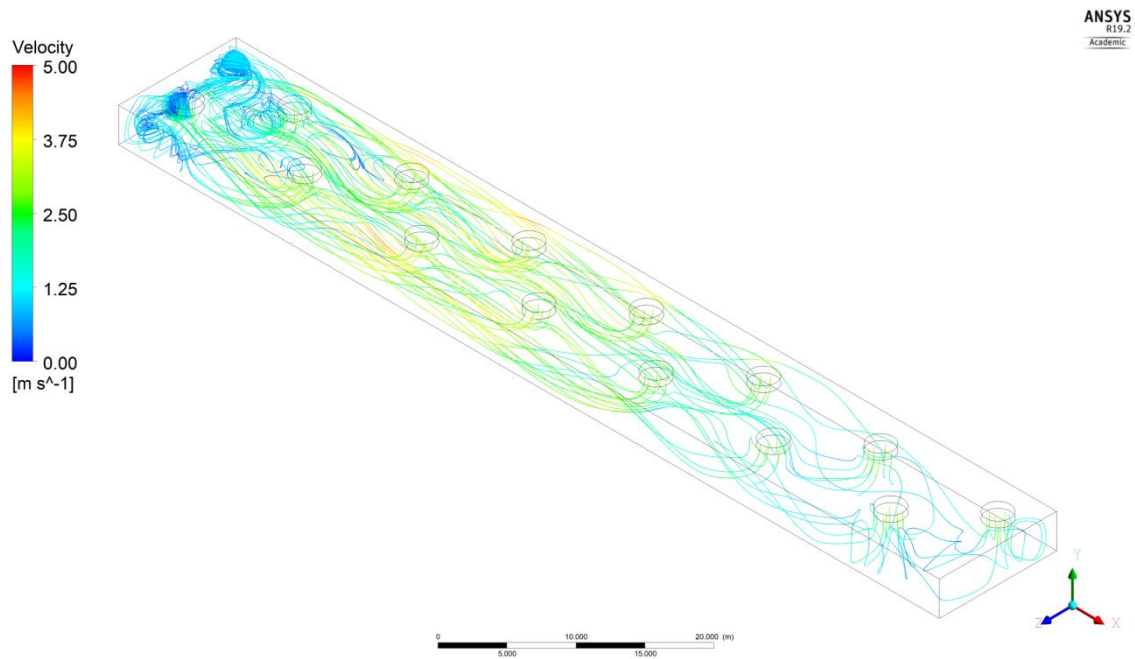


Imagen 8-12: Representación de las líneas de flujo de velocidad en el interior del edificio según la distribución 2 de ventiladores

En este caso se puede observar que las líneas de flujo tienden este caso hacia el lado izquierdo del local; nuevamente esto se debe al mismo motivo explicado anteriormente, puesto que algunas líneas de flujo no han sido representadas (como se puede observar en los ventiladores 12 a 14).

En este caso también se puede apreciar que las velocidades de los flujos combinados de los ventiladores son mayores que la velocidad de salida del aire de los propios ventiladores, llegando a alcanzar valores de 5 m/s, cuya justificación es la misma que la explicada en el ejemplo anterior.

Nuevamente se estudiará el caso en el que únicamente unos pocos ventiladores funcionan, para simular un caso de trabajo normal; l igual que antes los ventiladores que se tomaran como activos son los número 1, 2, 4, 7, 8, 9, 12 y 14. A continuación en la *Imagen 8-13* se pueden ver las líneas de flujo resultantes de hacer la simulación:

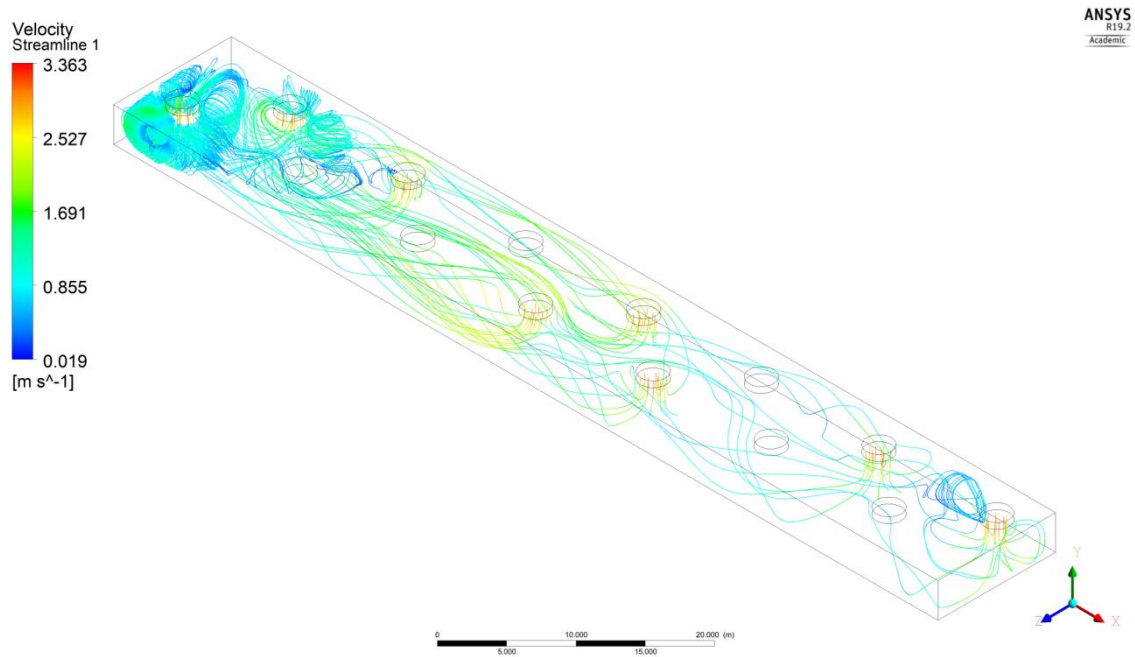


Imagen 8-13: Representación de las líneas de flujo de velocidad en el interior del edificio según la distribución 2 de ventiladores de los boxes 1, 2, 4, 7, 8, 9, 12 y 14.

Al igual que en los casos anteriores, se puede observar un vencimiento de las líneas de flujo hacia un extremo del local; también se puede observar que la velocidad máxima de las líneas de flujo es un poco menor en este caso que en el de la colocación en el centro. Pese a no ser tan excesiva la diferencia, lo que sí se puede apreciar es que las velocidades medias en los boxes han aumentado gracias a la nueva distribución, especialmente aquellos que tienen ventiladores contiguos funcionando.

Tras la realización de ambas simulaciones se puede observar que, a pesar que ambos tipos de distribuciones logran un buen rendimiento en cuanto a distribución de aire, la segunda opción parece tener una cierta ventaja respecto a la primera respecto a las máximas velocidades alcanzadas, con lo que se empleará esta distribución.

Cabe comentar que, pese a haber escogido esta segunda distribución como la final, no existe impedimento alguno de cambiar de alternativa en caso de que la implementación de esta distribución sea más costosa que la otra por cualquier causa que sucediera en el propio edificio.

8.5. Selección de la mejor opción:

Tras el estudio de mercado y las simulaciones realizadas anteriormente se puede concluir que la forma óptima de climatizar el local mediante ventiladores de aspas sería la de emplear 14 unidades de ventiladores HVLS-ECO AC 1PH 200-240V 50/60Hz, cuya ficha técnica puede hallarse en el *Anexo 2: Hojas de características*, situándolos una unidad por box tal y como se puede

observar en la *Imagen 8-4*.

En cuanto al coste de esta inversión, se tiene que con la compra de los ventiladores el precio a pagar es de $14 * 1300 = 18200$ €; únicamente con la compra de los ventiladores, la inversión inicial se reduce en casi 30000 €; por no hablar del coste energético, puesto que cada ventilador consume como máximo 0.466 kW, el cual multiplicándolo por las 14 unidades y 10 horas diarias nos dan un consumo total de 65 kWh al día; multiplicándolo por el precio de la energía de 0.1 €/Kwh y 4 meses de trabajo nos da un coste total de 780 €. Reduciendo el coste asociado al consumo eléctrico durante su uso en casi 12500 €.

8.6. Estudio de alternativa; motor de imanes enfrentados:

A continuación se presentará una alternativa que puede lograr la reducción del consumo energético, esta alternativa se basa en el empleo de un tipo de motores especializados que funcionan a base de imanes enfrentados. Pese a ser un aparato aun en desarrollo, el potencial del que dispone puede llegar a revolucionar el mercado de los motores, haciendo que los modelos actuales queden obsoletos y sean reemplazados por este tipo de motor.

El motor, que basa su funcionamiento en la repulsión magnética y el aumento del campo magnético mediante la concentración de las líneas de fuerza; se compone de dos discos rotacionales, que pueden girar en la misma o en diferente dirección. El disco contiene imanes permanentes de neodimio que siguen el giro del campo magnético generado por el estator del motor. El motor dispone de un diferente número de bobinas en función de la velocidad o potencia que se desee obtener. El control de giro se realiza mediante un detector de campo magnético unido a un control de posición electrónico.

A continuación, en la *Imagen 8-14* se puede observar el motor de imanes:

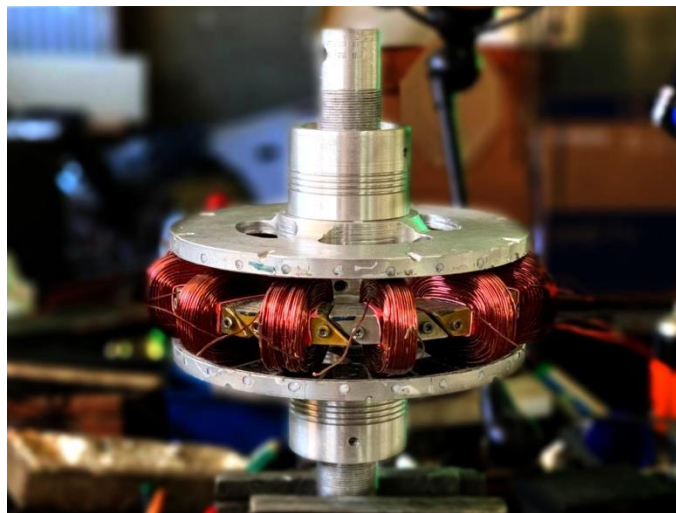


Imagen 8-14: Imagen del motor de imanes enfrentados.

Tal y como se puede apreciar en la imagen, el motor consta de los dos imanes (los dos discos planos plateados), los cuales pueden girar en ambos sentidos; separándolos, tenemos el conjunto de bobinas de cobre que permitirán crear el campo magnético con el que se pondrá en marcha el motor.

La principal ventaja que este motor proporciona es su altísimo rendimiento comparado con el resto de motores convencionales; tal y como se puede observar en la *Imagen 8-15* en la que se comparan las gráficas del rendimiento entre distintos motores y el de imanes para diferentes valores de carga del motor.

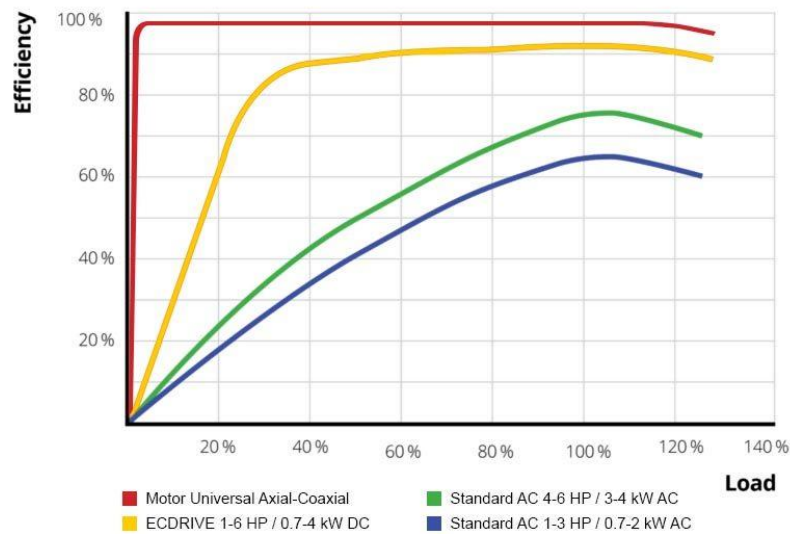


Imagen 8-15: Comparativa entre las diferentes eficiencias de motores del mercado y el de imanes.

Tal y como se puede observar, la eficiencia del motor es, no únicamente mucho mayor que la de cualquier motor que se pueda hallar en el mercado sino que la conserva durante un rango de carga mucho mayor.

Aun así, este tipo de motor es bastante nuevo, con lo que no se ha podido comercializar oficialmente. Este es el motivo por el cual únicamente se menciona como una posible alternativa y futura línea de investigación, pero no se implementará como una solución viable.

9. Sistema de alimentación mediante energía solar fotovoltaica:

9.1. Energía solar:

La energía solar es toda aquella energía obtenida gracias a la acción del Sol; existen diversos tipos de energía que se pueden obtener por estos medios, a continuación se detallarán las más características:

9.1.1. Energía solar pasiva:

El uso de la energía solar pasiva se basa en el aprovechamiento de la radiación solar sin transformación alguna; ya sea para el calentamiento de espacios, hornos o cocinas solares, sistemas de termosifón e incluso para la arquitectura bioclimática.

Estos sistemas de energía se caracterizan por tener un coste muy bajo o nulo y un bajo mantenimiento. Cabe comentar que pese a sus bajos costes, la mejora e investigación de estos sistemas permite reducir aun más los costes que se tienen (principalmente de espacio).

9.1.2. Energía solar térmica:

La energía solar térmica consiste en el aprovechamiento de la energía procedente del Sol para transferirla a un medio portador de calor, como agua o aire. Este tipo de energía tiene muchas aplicaciones distintas, desde calentamiento de viviendas e instalaciones a la generación de energía eléctrica mediante turbinas de vapor.

Usualmente los sistemas de captación solar se componen por una cubierta, que trata de reducir las pérdidas por radiación y convección; una placa absorbente, que absorbe la energía solar y la transmite al líquido que circula por las tuberías y finalmente las tuberías o conductos por el que circula el líquido a calentar.

9.1.3. Energía solar termoeléctrica:

La energía solar termoeléctrica, también conocida como energía termosolar de concentración, es un medio de obtención de energía basado en el uso de lentes o espejos para concentrar grandes cantidades de luz solar en una zona y convertirla en calor, tal y como se puede ver en la *Imagen 9-1*; que a su vez impulsa un motor térmico para producir energía eléctrica.



Imagen 9-1: Imagen de una planta termosolar de concentración

Este tipo de generación de energía, pese a ser más económico que el generado por combustibles fósiles, vio su crecimiento mermado hasta recientemente debido al alto coste de los materiales, la imposibilidad de almacenar energía para la producción nocturna y la necesidad de una gran irradiación solar, factor que no todos los países poseen. Aun así actualmente se están empezando a desarrollar numerosos proyectos termosolares en países como Argelia, Marruecos, Estados Unidos o Australia.

9.1.4. Energía solar fotovoltaica:

La energía solar fotovoltaica es uno de los modos de obtención de energía más limpios y conocidos, se logra obtener la transformación directa de energía solar a eléctrica empleando el efecto fotovoltaico mediante placas fotovoltaicas como las de la *Imagen 9-2*. Originalmente, este tipo de tecnología fue empleado para proporcionar electricidad a los satélites; posteriormente, se aceleró la investigación y desarrollo de los paneles fotovoltaicos hasta convertirse, en la actualidad, en una alternativa viable para los combustibles fósiles.



Imagen 9-2: Imagen de paneles de placas fotovoltaicas

Este tipo de sistema de energía es muy útil en zonas aisladas donde el suministro eléctrico no llega o tiene una instalación dificultosa, también suele estar presente en zonas con niveles altos de radiación solar al año.

9.1.5. Energía solar híbrida:

Finalmente, la energía solar no tiene por que ser la única fuente de energía que se aporte a un sistema; puesto que también puede combinarse con otros medios de energía para compensarse entre ellos; como por ejemplo el empleo de generadores fotovoltaicos y motores de combustión para ayudar con la generación nocturna.

9.2. Generación eléctrica mediante energía fotovoltaica:

9.2.1. Radiación solar:

La energía solar fotovoltaica es una fuente de energía renovable, considerada por muchos como la más limpia de entre las renovables; este tipo de energía puede emplear en casi cualquier lugar de la Tierra que reciba suficiente radiación solar.

La radiación solar, tal y como su nombre indica, es el conjunto de ondas electromagnéticas emitidas por el Sol, en esta estrella, de temperatura media de 6000 K, tienen lugar numerosas reacciones de fusión nuclear a la vez, que producen energía debido a la transformación de masa. Esta energía liberada del Sol se transmite al exterior en forma de radiación solar, que se distribuye desde el infrarrojo hasta el ultravioleta. Aun así, no toda la radiación emitida por el sol alcanza la tierra, puesto a que la atmósfera detiene un cierto porcentaje de radiación ultravioleta que llega a la Tierra. La magnitud que mide la radiación solar que llega a la tierra es la irradiancia, magnitud que mide la potencia por unidad de superficie que llega a la tierra en W/m^2 (vatios por metro cuadrado).

La radiación solar no llega de forma igual a todos los puntos de la Tierra, los rayos solares son más intensos en el ecuador y disminuyen a medida que nos acercamos a los polos. En muchas zonas un alto valor en energía puede estar relacionado con bajas precipitaciones, como sucede en el desierto del Sahara; en otros casos, como en las selvas de Suramérica, se puede dar una gran explosión de vida.

A nivel de Europa, y más concretamente de España, la radiación solar que llega es relativamente elevada en comparación con otros países. Tal y cómo se puede ver en la *Imagen 9-3*, donde se muestra la irradiación por hora de sol, España es el país de Europa con mayor radiación solar por año, alcanzando valores de entre 1200 hasta 2000 kWh/m^2 .

9.2.2. Efecto fotovoltaico:

Tal y como se ha comentado anteriormente, la energía solar fotovoltaica emplea la radiación obtenida por el Sol y la transforma en electricidad mediante el efecto fotovoltaico.

El efecto fotovoltaico es el efecto fotoeléctrico caracterizado por la producción de corriente eléctrica entre dos piezas de material diferente en contacto y expuestas a la luz (o a una radiación electromagnética). Este efecto consiste en convertir la luz solar en energía eléctrica empleando células fotovoltaicas. Estas células son unos dispositivos semiconductores hechos de silicio puro con la adición de otros productos químicos a modo de impurezas que son capaces de generar corriente continua al recibir radiación solar.

Este efecto fotovoltaico se produce en el momento en el que un fotón de luz impacta en los electrones de los átomos de silicio de la placa semiconductora; estos electrones se excitan y si la energía que obtienen es superior a la fuerza de atracción del núcleo del átomo, sale de su órbita y queda libre para viajar a través del material, convirtiendo a la placa de silicio en un conductor.

Mediante el uso de contactos exteriores de la placa, se puede unir la célula a un circuito eléctrico, por el cual circulará corriente eléctrica continua.

Cabe mencionar que las células fotovoltaicas no tienen capacidad de acumulación de energía (como los condensadores), por lo tanto únicamente se producirá corriente si las células reciben radiación solar.

Aun así, en el proyecto, su uso será principalmente para hacer funcionar el sistema de refrigeración en verano; cuando se puede asumir que casi cada día será soleado y por ende, no supondrá ninguna traba.

9.2.3. Eficiencia energética:

La eficiencia de los paneles solares varía considerablemente. Solamente en condiciones excepcionales un módulo rinde la energía anunciada por el fabricante. En la vida real, aunque en las mejores condiciones bajo el sol del medio día, un panel puede producir solamente entre 75 y 85 % de su capacidad nominal.

Usualmente, las celdas fotovoltaicas, al recibir radiación solar se suelen calentar, alcanzando temperaturas de 50 °C o más, hecho que afecta negativamente a los paneles solares, puesto que por cada grado de temperatura adicional a los 25 °C pueden perder entre un 0.3 y un 0.7 % de rendimiento en función del modelo y calidad.

Cada celda produce según tipo y radiación solar un voltaje de entre 0.35 y 0.65 V. Un panel por ejemplo de 12 Voltios contiene 36 celdas conectadas en serie logrando un voltaje nominal de

aproximadamente 18 V, suficiente alta para cargar baterías de 12 V bajo condiciones difíciles. Por la necesidad de alimentar la red pública con sistemas más poderosos, la tendencia es producir paneles solares cada vez más grandes para generar un voltaje mayor, mejorar la eficiencia reduciendo contactos y cables, y lograr mejores precios por vatio. La mayoría de estos paneles son compuestas de 60 celdas (aprox. 30 V) o 72 celdas (aprox. 36 V) con una capacidad hasta más de 400 W.

Lograr unir todas estas celdas para crear los paneles no es una tarea sencilla, puesto que al estar conectadas en serie, si existiera alguna celda defectuosa o que operara de peor modo que el resto, mermaría la eficiencia de todo el panel. Esto explica la gran diferencia que a veces hay entre la eficiencia de las células individuales y de los paneles, puesto que una sola célula defectuosa puede no solo cortar el flujo de electricidad, sino que puede llegar a causar un calentamiento puntual de más de 100 °C.

En el caso del mercado de los paneles fotovoltaicos la eficiencia que disponen (energía útil entre energía consumida) no suele sobrepasar el 20 %. Aun así hay diversas empresas especializadas en dichos paneles que han logrado eficiencias de hasta un 40 %; pero únicamente en laboratorios y bajo condiciones muy especializadas.

9.3. Placas solares fotovoltaicas:

El método de obtención de energía fotovoltaica más conocido es el que se logra a través de placas fotovoltaicas, de este tipo hay infinidad de distintos modelos con un gran rango de potencias disponibles; a priori, el objetivo es hallar un modelo de placas que consiga cubrir la potencia requerida por los ventiladores de aspas.

En la elección de el mejor modelo hay que estudiar las hojas de características para hallar la eficiencia de dichos paneles; puesto que aun tener un precio de compra usualmente mayor que el resto, la reducción de pérdidas que tendrán acabarán compensando dicha inversión inicial, por no hablar de que a mayor rendimiento un panel tenga, mayor potencia proporcionará, con lo que el número de paneles requeridos disminuirá.

A continuación se muestran en la *Tabla 9-1* los 10 paneles más eficientes que se hallan en el mercado en la actualidad.

FABRICANTE	MODELO	EFICIENCIA DE PANEL	POTENCIA DEL PANEL	TAMAÑO (largo x ancho)
SunPower	SPR-X22-370 (Ahora MAX3-400)	22.6%	400W	1.690 x 1.046 mm
SunPower	SPR-X22-360 (Ahora MAX3-390)	22.1%	390W	1.690 x 1.046 mm
SunPower	MAX3-370	20.9%	370W	1.690 x 1.046 mm
LG	LG360Q1C-A5	20.8%	360W	1.700 x 1.016 mm
LG	LG355Q1C-A5	20.6%	355W	1.700 x 1.016 mm
AUO	SunForte PM096B00	20.6%	335W	1.559 x 1.046 mm
SunPower	MAX2-360	20.4%	360W	1.690 x 1.046 mm
AUO	SunForte PM096B00	20.3%	330W	1.559 x 1.046 mm
SunPower	MAX3-350	19.8%	327W	1.690 x 1.046 mm
SHARP	NQ-R256A	19.8%	256W	1.318 x 980 mm
Panasonic	VBHN330SJ53	19.7%	330W	1.590 x 1.053 mm
Panasonic	VBHN325SJ53	19.4%	325W	1.590 x 1.053 mm
SunPower	SPR-P19-400	19.4%	400W	2.067 x 998 mm

Tabla 9-1: Tabla de los modelos de paneles solares más eficientes del mercado

Tal y como se ha comentado anteriormente, la eficiencia de los paneles ronda el 20 %; aunque tal y como se ha comentado anteriormente y viene indicado en sus respectivas hojas de características, pierden un cierto porcentaje de eficiencia por cada grado por encima de los 25 °C; alrededor de los -0.29 %/°C, con lo que la eficiencia se vería reducida más o menos en un 1 % en el caso del edificio de boxes a climatizar.

Estudiando el mercado de paneles solares disponibles, se ha decidido que, para implementar la alimentación de los ventiladores, en el caso de emplear paneles solares se utilizaría una combinación de múltiples paneles solares SPR-X22-370 (MAX3-400), cuya ficha técnica puede hallarse en el Anexo 2: Hojas de características, mostrados en la *Imagen 9-5* a continuación; de la marca SunPower de 400 W, eficiencia del 22.6 % y un precio por panel de 347.09 €.

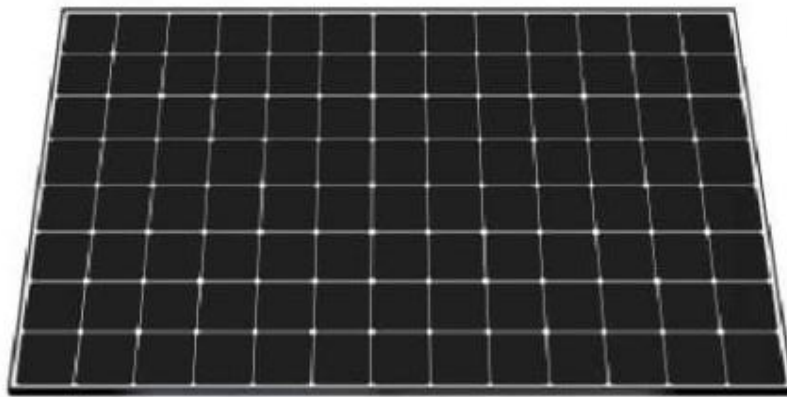


Imagen 9-5: Imagen de un panel solar del modelo MAX3-400

En cuanto al número de paneles solares necesarios, hay que tener en cuenta la potencia total consumida por los ventiladores, en el caso de emplear los modelos de fábrica escogidos, con una potencia total de 0.466 kW por unidad, el número mínimo de paneles necesarios para cubrir tal demanda es de $0.466 * 14 : 0.4 = 16.31 \rightarrow 17$ paneles solares necesarios para cubrir las necesidades de ventilación más un pequeño margen de seguridad.

En cuanto al espacio ocupado por los paneles, cuyas dimensiones son de $1.69 * 1.05 \text{ m}^2$ por panel, la colocación ideal sería situándolos en una cuadrícula de $6 * 3$ paneles (excluyendo un hueco que quedaría vacío al ser 17 paneles) cubriendo una superficie de $5.07 * 6.27 = 31.94 \approx 32 \text{ m}^2$.

A continuación se muestra la vista superior del edificio de boxes con el área que ocuparían los paneles solares que permitirían la autosustentación de los ventiladores de aspas; como se puede ver en la *Imagen 9-6*, la superficie requerida es bastante pequeña y se podría colocar con facilidad (el rectángulo únicamente muestra el espacio ocupado; no el lugar exacto en el que tienen que ir instalados los paneles).



Imagen 9-6: Imagen del edificio de boxes con superficie ocupada por los paneles solares

En este caso el coste total de la inversión sería de $17 * 347.09 = 5900.5\text{€}$ en caso de querer implementar los 17 paneles solares.

9.4. Lona solar fotovoltaica:

En la actualidad, en los terrados y cubiertas de naves industriales y edificios especializados es complicado instalar paneles solares físicos, puesto que ocuparían espacio que se podría emplear para otros propósitos más importantes como la colocación de equipos de climatización, instalación de antenas y receptores o incluso sistemas de cañerías de ventilación o evacuación. De este modo la superficie disponible para colocar paneles solares se reduce drásticamente, con lo que hay que tratar de hallar una nueva forma de colocar captadores solares.

En el caso que nos atañe, y tal y como se puede ver no se ha descartado la posibilidad de construir instalaciones encima del edificio, tal y como se puede observar en la *Imagen 9-6* anterior ya existe actualmente un local encima de los boxes, utilizado por los empleados como zona de reuniones y descanso. Con lo que futuras construcciones son posibles y, pese a únicamente ocupar una pequeña zona del terrado, los paneles solares pueden acabar convirtiéndose en una molestia para los proyectos de ampliación del edificio.

En este momento entran en juego las lonas fotovoltaicas, una variante de los paneles fotovoltaicos que, pese a tener menor potencia que los paneles fotovoltaicos, proporcionan una mayor facilidad en el momento de la implementación; además de proporcionar un acabado estético al lugar.

La instalación de lonas fotovoltaicas además es muy simple, puesto que la estructura que requieren no es diferente a la de una lona tensada, además de tener un peso muy reducido lo que permite un transporte sencillo. Aun así, la mayor ventaja de estas lonas sería la versatilidad que acarrearía su colocación, puesto que si en algún momento se decidiera construir en la zona en la que se hallaran las lonas, su recolocación sería muy sencilla, puesto que únicamente habría que desconectarlas, trasladarlas a su nueva ubicación y reinstalarlos; únicamente necesitando alargar las conexiones eléctricas.

Al igual que sucede con los paneles solares, el mercado de lonas fotovoltaicas es bastante extenso; tras estudiar varios modelos de lonas solares se ha decidido, en caso de implementar la alimentación mediante lonas fotovoltaicas, el modelo de lona sería el UniSolar ePVL-144 Lamine de 144 W con un precio de 190 € y dimensiones de $5.41 \times 0.373 \text{ m}^2$, cuya ficha técnica puede hallarse en el *Anexo 2: Hojas de características*, mostrado en la *Imagen 9-7* a continuación.



Imagen 9-7: Imagen de la lona solar UniSolar ePVL-144 Lamine

Las dimensiones de esta lona son de $5.412 * 0.373 = 2.02 \text{ m}^2$; con lo que para satisfacer la demanda total de 6.52 kW de potencia requerida por los ventiladores de aspas se requerirían como mínimo $6524 : 144 = 45.3 \rightarrow 46$ lonas.

Para optimizar la colocación de las lonas, y que ocupen el menor espacio posible, se ha pensado en tratar de crear secciones cuadradas de varias lonas e ir las agrupando entre ellas. Teniendo en cuenta este método, se ha pensado en agrupar las lonas de 15 en 15; con lo que se formarían tres cuadrados de lonas más una lona que iría sola, obteniendo cuadrados de superficie de $5.412 * 5.59 \text{ m}^2$; estos tres cuadrados más la lona posteriormente se podrían colocar adyacentes entre ellos o por separado, tal y como se desee por parte de la dirección del local. La superficie total que se ocuparía con las lonas fotovoltaicas sería de 92.77 m^2 ; un poco menos que el triple de espacio de los paneles solares.

A continuación, se muestra nuevamente la vista superior del edificio de boxes con el área que ocuparían las lonas solares que permitirían la autosustentación de los ventiladores de aspas; como se puede ver en la *Imagen 9-8*, se han colocado los 3 grupos de lonas uno al lado del otro, lo que nuevamente no indica que esta sea la disposición final. Cabe comentar que la lona extra no ha sido dibujada debido al pequeño espacio que esta ocupa, aun así esta lona se puede colocar adyacente al grupo de lonas y el incremento de superficie será prácticamente nulo.



Imagen 9-8: Imagen del edificio de boxes con superficie ocupada por las lonas solares

En este caso el coste total de la inversión sería de $46 * 190 = 8740\text{€}$; un valor superior al precio de las placas fotovoltaicas, pero con las ventajas de que tienen mucha más movilidad que los paneles; y que en el caso de que alguna lona se estropeará, su cambio resultaría mucho más sencillo y barato.

9.5. Elección de la mejor alternativa:

En este apartado se han considerado dos distintas alternativas de alimentación eléctrica autosuficiente para la ventilación del local; mediante paneles fotovoltaicos y lonas fotovoltaicas; ambos sistemas de alimentación tienen pros y contras, principalmente en la movilidad y el precio, puesto que a pesar de que la instalación de los paneles fotovoltaicos resulta ser más barata, unos 2800€ más barata; dificultaría la edificación en la parte superior del edificio (hecho que ya se ha empezado a realizar, tal y como se puede ver en las imágenes por satélite del local).

Por otro lado, las lonas fotovoltaicas, a pesar de ser más caras que los paneles, son mucho más versátiles y permiten su colocación más libremente que los paneles; además de tener un mantenimiento mucho más fácil que los paneles gracias a su poco peso y fácil instalación.

Una vez considerado todos los datos, y teniendo en cuenta el dinero ahorrado al escoger ventiladores enfrente de aire acondicionado, se puede hacer la excepción y tomar como alternativa final las lonas fotovoltaicas, puesto que la inversión extra que se realiza económicamente viene compensada con creces con la manejabilidad y el confort que estas proporcionan.

10. Evaluación del impacto ambiental del proyecto

A día de hoy, en cualquier proyecto de ingeniería se tiene que tener en cuenta el impacto ambiental sobre el ecosistema de nuestro planeta, puesto que ha cobrado mucha importancia. La preocupación por las consecuencias ambientales, sociales y económicas ha ido creciendo a lo largo de los años, además de los compromisos acordados por un gran número de estados en los acuerdos del Protocolo de Kioto o del acuerdo de París sobre el consumo, la generación de energía y el cambio climático. Todo ello ha llevado a la sociedad a querer desarrollar las energías renovables para que estas puedan ser más eficientes.

Uno de los aspectos más positivos de la energía solar fotovoltaica es la ausencia de emisiones contaminantes a la atmosfera como por ejemplo el CO₂, principal causante del efecto invernadero; óxidos de nitrógeno o azufre, causantes de la lluvia ácida o la reducción de la capa de Ozono.

La energía solar fotovoltaica, es una energía renovable, por lo tanto, es una fuente de energía gratuita e inagotable, además, es de las más respetuosas con el medioambiente comparándola con el resto de las energías convencionales, tanto las no renovables como otras renovables. Esto se debe a que no modifica el terreno físico sobre el que se construye, como por ejemplo las centrales eólicas; ni sobre la calidad del aire, como las térmicas; ni sobre suelos, como las geotermiales. Tampoco producen ruidos, vibraciones ni se afecta a la hidrología del terreno.

Hay muchos tipos diferentes de estudios del impacto ambiental, en función de su extensión y complejidad existen muchos tipos distintos de evaluaciones. En este estudio de impacto ambiental se estudiará el impacto que generan durante toda su vida, incluyendo creación y desmantelamiento; los ventiladores de aspas y las lonas solares.

10.1. Estudio del impacto ambiental de los ventiladores de aspas:

Tal y como se ha comentado anteriormente, en este estudio de impacto se va a analizar el ciclo de vida de el ventilador de aspas, esto corresponde a la construcción, vida útil y el desmantelamiento y reciclado del aparato.

10.1.1. Construcción de los ventiladores:

En la fase de creación de los ventiladores de aspas se utilizan principalmente metales como el aluminio o el acero para crear las aspas y el motor, además de conexiones de cobre y microchips de silicio. Todos estos metales son fácilmente reutilizables, con lo que la obtención de los materiales para construir los ventiladores es principalmente del reciclaje, únicamente un pequeño porcentaje proviene de materiales vírgenes extraídos de minas (puesto que nunca se logra aprovechar el 100% del material reciclado).

A pesar de esto, las emisiones de esta fase son bastante pequeñas, y aun cuando se tienen en cuenta las emisiones de sulfuros y nitruros o aquellas resultantes de la combustión al procesar los materiales, se sigue teniendo unos valores muy bajos de emisiones para el volumen de material utilizado.

10.1.2. Vida útil de los ventiladores:

Una de las muchas ventajas que tienen los ventiladores de aspas respecto a los aires acondicionados es el hecho de que no calientan el aire exterior; ya que al enfriar el interior del local, el calor intercambiado es expulsado al exterior, incrementando (en pequeña escala) la temperatura del planeta. Los ventiladores, en cambio únicamente mueven el aire, con lo que no afectan a la temperatura de ningún modo. El único impacto ambiental que estos aparatos generarían sería el del consumo eléctrico, si no estuvieran autosustentados, puesto que tendrían que alimentarse directamente de la red eléctrica y obtener energía que podría haberse obtenido por quema de combustible u otros medios. Tal y como se ha comentado este no es el caso.

Otro punto que podría generar impacto ambiental sería el funcionamiento en sí del aparato, puesto que los ruidos y vibraciones se consideran impactos ambientales, al igual que si se precisa de un mantenimiento de los motores. En este caso todos estos puntos pueden descartarse, puesto que, tal y como se indica en las hojas de fabricantes, los motores de los ventiladores no disponen de engranajes con lo que no se emiten ruidos o vibraciones y prácticamente no se precisa de mantenimiento alguno.

Como recopilación se puede decir que el impacto ambiental de los ventiladores durante toda su vida útil es nulo o prácticamente nulo.

10.1.3. Desmantelamiento y reciclado de los ventiladores:

En la sociedad actual el concepto del reciclaje está muy arraigado, con lo que siempre que se pueda es una acción correcta el dar una segunda vida a los aparatos utilizados, ya sea reutilizándolos para otros fines o reaprovechando sus materiales para construir nuevos. El caso de los ventiladores no es una excepción, con lo que hay que tratar de reciclar todos aquellos materiales que sea posible; tal y como se ha comentado anteriormente, la gran mayoría de los materiales empleados para construir los ventiladores son 100 % reciclables (principalmente metales) que se pueden fundir nuevamente para crear nuevos ventiladores u otros objetos; únicamente habría que tirar aquellas partes que estuvieran quemadas, como por ejemplo circuitos defectuosos o partes carbonizadas debido a algún fallo de circuitería.

Aun así, la gran mayoría de los componentes tienen únicamente como impacto ambiental el pequeño coste de separación y fundido de los distintos materiales.

10.2. Estudio del impacto ambiental de las lonas fotovoltaicas:

Al igual que con los ventiladores de aspas, el impacto ambiental de las lonas fotovoltaicas se puede dividir en construcción, vida útil y desmantelamiento y reciclado.

10.2.1. Construcción de las lonas fotovoltaicas:

A la hora de fabricar las lonas fotovoltaicas se utilizan materiales como el silicio (cristalizado y amorfo), germanio, selenio y seleniuros de cobre (SeCu y SeCuGa), sulfuros diversos, óxidos de cobre y algunos polímeros entre otros. Estos materiales pueden producir emisiones tóxicas y vapores metálicos al ser manipulados, esta parte suele ser la que más impacto genera en la vida de las células fotovoltaicas; aun así, estas emisiones se compensan con creces en el momento de tener en cuenta su vida útil en el impacto que generan.

10.2.2. Vida útil de las lonas fotovoltaicas:

Tal y como se ha comentado, el impacto ambiental que se genera en la construcción del aparato se ve compensado al tener en cuenta todo el impacto ambiental reducido al emplear lonas solares a cualquier otro método de alimentación, puesto que el ahorro en emisiones de CO₂ que se produce al generar energía eléctrica a partir de la solar es muy grande. Cabe comentar también que durante la vida útil del aparato no se producen ruidos ni vibraciones, con lo que prácticamente no generan impacto alguno.

Cabe destacar también que una de las ventajas que tienen las lonas respecto a los paneles fotovoltaicos en cuanto al impacto ambiental se refiere es el hecho de que las lonas solares precisan de un mantenimiento incluso menor que los paneles, esto sumado al ínfimo coste que supone el reemplazarlos en caso de avería no hacen sino mejorar las cualidades que ya tenían las lonas fotovoltaicas.

10.2.3. Desmantelamiento y reciclado de las lonas fotovoltaicas:

Para el caso de el fin de la vida de las lonas y placas fotovoltaicas, existen dos caminos que se pueden tomar en cuanto a darles una segunda vida; el primero es el de repotenciación, que consiste en reparar y sustituir aquellas células desgastadas, ofreciendo una segunda vida al aparato; esta es la opción ideal, puesto que implicaría la reutilización de casi toda la placa desechada.

El otro proceso es el de la separación y reciclaje de los materiales; se estima que los residuos de los paneles fotovoltaicos, compuestos principalmente de vidrio, podrían ascender a 78 millones de toneladas a escala mundial para el año 2050. Si éstos se inyectan totalmente de nuevo en la economía, el valor del material recuperado podría superar los 15000 millones de dólares en 2050.

Este hecho hace ver que lo importante y beneficioso que puede resultar el reciclaje de las células fotovoltaicas a largo plazo. Cabe también comentar, que todos los aparatos electrónicos son fácilmente reciclables, puesto que usualmente al acabar la vida de un producto la electrónica suele hallarse en buenas condiciones con lo que se puede emplear para otros objetos.

11. Presupuesto

El estudio económico que se realizará a continuación consta de 2 partes: la primera parte consistiría en el análisis del coste de llevar a cabo el proyecto, es decir, cuanto dinero costaría instalar e implementar el sistema de ventilación diseñado a lo largo de este trabajo; la segunda parte del presupuesto correspondería al estudio del coste económico que ha acarreado la realización de este trabajo, incluyendo horas aplicadas, licencias de software informático y demás.

11.1. Costes de la instalación:

En este apartado se va a analizar la inversión monetaria total que se requeriría para implementar completamente el sistema; en la *Tabla 11-1* se incluye un desglose de los costes que el proyecto supondrá. Se han destacado principalmente dos componentes, la adquisición de los materiales y productos empleados y la mano de obra utilizada para realizar la construcción.

<u>Concepto</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Coste unitario</u>	<u>Coste Total</u> <u>[€]</u>
Componentes del sistema de ventilación			27840 €
Ventiladores	14 ud	1300 €/ud	18200 €
Lonas solares	46 ud	190 €/ud	8740 €
Conexiones eléctricas	1 ud	300 €/ud	300 €
Materiales de construcción	1 ud	300 €/ud	300 €
Alquiler de maquinaria y andamiaje para la construcción	1 ud	300 €/ud	300 €
Montaje de la instalación			615 €
Instalación de los ventiladores	35 h	15 €/h	525 €
Instalación de las lonas solares	6 h	15 €/h	90 €
<u>COSTE TOTAL</u>			<u>29070 €</u>

Tabla 11-1: Desglose de costes de la instalación

Algunos de estos costes son orientativos y podrían variar en función de las diferentes conexiones o materiales empleados, al igual que el alquiler de maquinaria para la construcción puesto que el circuito podría disponer del equipo necesario para su instalación.

Otro tipo de coste a considerar en el proyecto es el de la mano de obra encargada de la construcción y montaje de los aparatos, puesto que los componentes son elementos especializados (sobretudo los ventiladores y sus conexiones); se requiere de mano de obra externa para su implementación. Para esto se ha considerado que la implementación de un ventilador con todas sus conexiones durará alrededor de dos horas y media, haciendo un total de 35 horas para la completa instalación de los 14 ventiladores; en cambio, para las lonas solares, cuya instalación es muy sencilla, se ha considerado que para colocar las 46 lonas que se disponen con 6 horas de trabajo son suficientes. Ambas actividades se consideran realizadas por el mismo profesional a un precio orientativo de 15 euros la hora.

Tal y como se ha ido comentando anteriormente, estos aparatos no precisan de mantenimiento alguno, y en caso de necesitarlo (limpieza principalmente), no es necesaria la contratación de ningún servicio externo a la empresa, con lo que no se añadirá coste de mantenimiento alguno.

Finalmente, habiendo contabilizado todos los costes de la instalación, el precio total de la inversión asciende a los 29070 € (veintinueve mil setenta euros).

11.2. Costes del proyecto:

A continuación se evaluará el coste económico de el proyecto llevado a cabo, en este se considerarán factores como las horas dedicadas al proyecto o los elementos físicos utilizados para la realización del trabajo. A continuación se detalla en la *Tabla 11-2* los costes desglosados del trabajo:

<u>Concepto</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Coste unitario</u>	<u>Coste Total</u> <u>[€]</u>
Coste de personal			9000 €
Análisis del problema	50 h	30 €/h	1500 €
Búsqueda de información	100 h	30 €/h	3000 €
Ejecución de las simulaciones	50 h	30 €/h	1500 €
Redacción de memoria	100 h	30 €/h	3000 €
Coste de hardware			1150 €
Ordenador de sobremesa	1 ud	1000 €/ud	1000 €
Periféricos informáticos	1 ud	150 €/ud	150 €
Coste de softwares y licencias			6594 €
Licencia Ansys*	1 ud	5000 €/ud	5000 €
Licencia SolidWorks*	1 ud	1300 €/ud	1300 €
Licencia Microsoft Office	1 ud	149 €/ud	149 €
Licencia Windows 10	1 ud	145 €/ud	145 €
Imprevistos y otros costes			500 €
Imprevistos y otros costes	-	-	500 €
Subtotal (sin IVA)			17244 €
IVA (21%)			3621 €
<u>COSTE TOTAL</u>			<u>20865 €</u>

Tabla 11-2: Desglose de costes del proyecto

Tal y como se puede ver en el desglose anteriormente mostrado; el mayor coste corresponde al factor humano empleado en la realización del proyecto; ascendiendo a los 9 000 € por las 300 horas dedicadas al trabajo, el sueldo por hora se ha tomado como precio que se hubiera cobrado por la realización del proyecto, de 30 € la hora para todos los apartados del proyecto.

En cuanto al software empleado y a las licencias de programas cabe destacar que todas aquellas marcadas con un asterisco (SolidWorks y Ansys) disponen de versión académica de estudiantes, con lo que para la realización de este proyecto la compra de dichas licencias (con el correspondiente pago de los 6 000 €) no ha sido requerido, aun así, la adquisición de dichas

licencias se ha añadido al presupuesto debido a que en un proyecto que se realizara independientemente no se dispondría de dichas ventajas y hubiera habido que abonar el importe completo del programa.

Se ha añadido también un último bloque en el que se han tenido en cuenta los imprevistos surgidos a lo largo del trabajo, además de gastos que no se pueden clasificar en otras categorías como son la impresión, el internet usado en la búsqueda de datos o el transporte, tanto de domicilio a universidad como el de universidad a circuito.

La valoración económica del proyecto “Diseño de sistema de refrigeración autosostenible para un edificio de boxes” asciende a los 20 865 € (veinte mil ocho cientos sesenta y cinco). En el caso de realización futura de proyectos similares, el coste será menor puesto a que se requerirán un menor número de horas gracias a experiencia y agilidad obtenida.

12. Planificación del proyecto

A continuación se muestra en la *Imagen 12-1* el diagrama de Gantt de las actividades que se han ido realizando a lo largo de este proyecto. La duración total del proyecto se estima en 20 semanas.

FASES DEL TRABAJO	SUBFASES DEL TRABAJO	Feb	Marzo					Abril				Mayo				Junio				Julio	
		25-3	4-10	11-17	18-24	25-31	1-7	8-14	15-21	22-28	29-5	6-12	13-19	20-26	27-2	3-9	10-16	17-23	24-30	1-7	8-12
Recopilación, lectura y comprensión de información referente al trabajo a realizar.	Busqueda y extracción de documentación teórica necesaria.																				
	Definición de bases para ejecución de trabajo; planteamiento del problema.																				
Preparación del marco teórico y ensayos de simulaciones.	Inicio de redacción de memoria sin datos experimentales (fórmulas y valores de muestra).																				
	Testeos del software de simulación de fluidos con escenarios similares a los que se hallarán.																				
Recopilación de datos experimentales in situ.	Recopilación de datos experimentales necesarios para resolver los problemas / simulaciones redactadas anteriormente.																				
Realización de simulaciones y redacción de estas.	Realización de las simulaciones finales empleando los datos medidos.																				
	Redacción de las simulaciones realizadas.																				
Obtención de conclusiones.	Conclusiones del proyecto.																				
	Proposición de futuras líneas de investigación.																				
Finalización del trabajo y presentación	Finalización de la memoria																				
	Preparación de la presentación oral																				
	Exposición del trabajo																				

Imagen 12-1: Diagrama de Gantt del proyecto con desglose de actividades.

Conclusiones:

En este proyecto se ha realizado el estudio y análisis de la implementación del sistema de refrigeración del edificio de boxes del circuito de velocidad Parcmotor Castellolí durante los meses más calurosos del verano (junio-setiembre).

En el estudio se ha realizado partiendo del estudio del edificio de boxes; en esta parte se ha determinado que parte de su totalidad era la que interesaba climatizar. Una vez decidido que únicamente se iban a climatizar los 14 boxes que componían la mayor parte del local; se propuso inicialmente emplear aparatos de aire acondicionado para enfriar el local. Para ello se procedió a estudiar cual era la carga térmica total que el local aporta; es decir, que potencia frigorífica se requeriría para compensar la generada por el local; obteniendo un valor de 290 kW de refrigeración requerida.

Tras ello se comenzó a estudiar el mercado de aires acondicionados para hallar el modelo más óptimo, al igual que la mejor distribución de aires para el local empleando diversas simulaciones del flujo del aire mediante el programa Ansys. Todo esto llevó a la conclusión de que eran necesarios 14 aparatos de aire (uno por cada box) de 20 kW de potencia frigorífica y 7.85 kW de consumo eléctrico por unidad; requiriendo de una inversión inicial de 47746.16 €, sin añadir el coste energético que supondrían.

Tras comprobar los resultados, se decidió que la inversión requerida y el consumo de electricidad era demasiado elevada; con lo que se decidió por estudiar una segunda alternativa, la refrigeración del local mediante la reducción de sensación térmica gracias al uso de ventiladores de aspas industriales situados en el techo del local.

Tras seleccionar esta opción se ha estudiado la nueva alternativa de instalar los ventiladores para reducir la sensación térmica del local; para ello, y al igual que en el caso de los aires acondicionados se ha realizado un estudio de mercado y un análisis del flujo del aire para comprobar la correcta distribución del aire en el local. Tras ello se decidió en la instalación de 14 ventiladores de 2.5 metros de diámetro (nuevamente uno por cada box) de 466 W de potencia cada uno y precio de 1300 €; con esto no únicamente se lograba reducir la potencia en casi un factor de 20, sino que también se reducían los costes económicos, puesto que la inversión inicial se reducía a 18200 €.

Una vez escogido el sistema de ventilación, el siguiente paso era el de tratar de convertir este sistema en uno que se pudiera autosostener energéticamente; para ello se ha realizado un estudio para alimentar los ventiladores mediante energía solar. Con este objetivo en mente, nuevamente se han estudiado dos alternativas, emplear paneles solares o lonas fotovoltaicas. Tras el estudio de mercado y valoración de la situación se decidió finalmente optar por las lonas solares que, pese a requerir una inversión ligeramente mayor y ocupar una superficie mayor,

permitían una manejabilidad que los paneles solares no dejaban tener. Con lo que se decidió por instalar 46 lonas solares de 144 W de potencia, con una generación suficiente para abastecer a todos los 14 ventiladores que se iban a instalar. El coste de esta inversión acaba siendo de 8740 €.

En cuanto a posibles futuras líneas de investigación de este proyecto, una de ellas sería el intentar sustituir los motores de los ventiladores por los axiales-coaxiales mencionados en el trabajo. Esto permitiría reducir aun más el consumo energético de la instalación, con lo que se minimizarían los costes aun más. Esto, pero, implicaría tener que modificar los ventiladores comprados o construir unos nuevos partiendo del motor de imanes, lo cual podría considerarse como un proyecto completamente independiente al realizado.

Finalmente, cabe recalcar que la tecnología fotovoltaica ha avanzado mucho en los últimos años a favor del autoconsumo, puesto que la reducción de los niveles de materiales perjudiciales para el medio ambiente y es crucial si se desea no únicamente cumplir con los acuerdos pactados en Kioto y París sobre el cambio climático y evitar sanciones; puesto que en la actualidad, España cumple los objetivos marcados en estas cumbres, con lo que tiene que pagar multas de emisiones anualmente. Es por esto que la inversión en energías limpias debe ser una prioridad no solo a nivel local, como puede ser un circuito de carreras, sino a nivel nacional e incluso global, puesto que es una acción que beneficiaría a todo el mundo.

Agradecimientos:

Quiero agradecer la dirección del proyecto a mi tutor, Emilio Hernández Chiva, por su implicación en el mismo y por haberme dado la oportunidad para realizar este proyecto y aprender de él. Además agradezco el haber estado en contacto sobre cualquier duda que ha podido surgir.

A Ton Pons, director del circuito Parcmotor Castellolí, por habernos facilitado los planos e información importante acerca del circuito y los edificios de boxes.

También me gustaría agradecer a familiares y amigos que me han seguido durante este trabajo final de carrera dándome consejos y ayudándome para poder haber llegado hasta este punto.

Bibliografía:

Bibliografía web:

Weatherspark (2016); Datos climáticos de Castellolí, recuperado de: <https://es.weatherspark.com/y/45898/Clima-promedio-en-Castellol%C3%AD-Espa%C3%B1a-durante-todo-el-a%C3%B1o>

Ingeniería mecánica (2019); Guía para el cálculo de las cargas térmicas en los edificios, recuperado de: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn255.html>

Universidad de Cantabria (2019); Guía para el estudio de cargas térmicas, recuperado de: <https://personales.unican.es/renedoc/Trasp%C3%Aancias%20WEB/Trasp%C3%AD-Tec%20Frig/002%20Cargas%20T%C3%A9rmicas.pdf>

Calor y frío (2019); Calor sensible y latente, recuperado de: <https://www.caloryfrio.com/172-calor-sensible-latente-definicion-funcionamiento.html>

Universidad de Navarra (2012); Climatización de un unifamiliar por energía geotérmica y producción de A:C:S: por energía solar térmica, recuperado de: <http://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/5423/577764.pdf?sequence=1>

Aemet (2012); Atlas de radiación solar en España, recuperado de: http://www.aemet.es/documentos/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/atlas_radiacion_solar/atlas_de_radiacion_24042012.pdf

Universidad de Valladolid (2014); Análisis de la viabilidad de un sistema de energía geotérmica en una vivienda unifamiliar, recuperado de: <https://core.ac.uk/download/pdf/61541607.pdf>

Gencat (2019); Clasificación de la radiación solar media diaria anual en los municipios de Cataluña, recuperado de: http://habitatge.gencat.cat/web/.content/home/ambits_dactuacio/qualitat_tecnica/sostenibilitat_i_ecoeficiencia_en_els_habitatges/docs/43_116400.pdf

Calor y frío (2019); Funcionamiento del aire acondicionado, recuperado de: <https://www.caloryfrio.com/aire-acondicionado/como-funciona-el-aire-acondicionado-infografia.html>

El aire acondicionado (2019); Concepto de frigoría, recuperado de: <https://www.elaireacondicionado.com/glosario/frigoría>

Ecosistemas del sureste (2017); El consumo eléctrico contra la energía producida, recuperado de: <https://www.ecosistemasdelsureste.com/news/el-consumo-electrico-contra-la-energia-producida/>

Aire acondicionado (2015); Características técnicas del aire acondicionado, recuperado de: <http://www.aire-acondicionado.com.es/caracteristicas-tecnicas-aire-acondicionado/>

Climarket (2019); Precios de conductos de aires acondicionados, recuperado de: <https://www.climamarket.eu/es/conductos>

Eurofred (2019); Precios de conductos de aires acondicionados, recuperado de: <https://www.eurofred.es/productos/industrial/>

Ventiladores techo (2019); Ventiladores de techo, recuperado de: <https://www.ventiladorestecho.com/todo-sobre-los-ventiladores-de-techo.html>

Lámparas (2019); funcionamiento de un ventilador de techo, recuperado de: <https://www.lamparas.tv/funcionamiento-ventilador-techo.html>

Magnovent (2019); Precios y modelos de ventiladores de techo industriales, recuperado de: <https://magnovent.eu/es/productos/ventiladores-industriales-hvls/>

Smartfan (2019); Precios y modelos de ventiladores de techo industriales, recuperado de: https://smartfan.es/wp-content/uploads/2019/01/Smart-Fan_catalogo-Ventiladores-HVLS.pdf

Magnetar (2019); Motor universal axial-coaxial, recuperado de: <http://magnetarplus.com/>

Tecnocosas (2019); tipos de energía solar, recuperado de: <https://www.tecnocosas.es/tipos-energia-solar/>

Solarweb (2019); Energía termosolar, recuperado de: <https://www.solarweb.net/termosolar.php>

Gencat (2019); Atlas de radiación solar en Cataluña, recuperado de: http://icaen.gencat.cat/web/.content/10_ICAEN/17_publicacions_informes/09_fons_documental/02_estudis_monografics/arxius/monografic12.pdf

Twenergy (2012); Como funciona la energía solar fotovoltaica, recuperado de:

<https://twenergy.com/a/como-funciona-la-energia-solar-fotovoltaica-339>

Sunfields (2019); Funcionamiento de la energía fotovoltaica, recuperado de: <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/energia-fotovoltaica-funcionamiento/>

Wikipedia (2019); Photovoltaics, recuperado de: <https://en.wikipedia.org/wiki/Photovoltaics>

Sunfields (2019); Los 10 paneles más eficientes del Mercado, recuperado de: <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/los-10-paneles-solares-mas-eficientes-del-mercado/>

Zero home bills (2019); Panel solar SPR-MAX3-400, recuperado de: <https://zerohomebills.com/product/sunpower-400w-spr-max3-400-mono-solar-panel/>

Sunfields (2019); Ficha técnica del panel solar SPR-MAX3-400, recuperado de: https://www.sfe-solar.com/themencode-pdf-viewer/?file=https://www.sfe-solar.com/wp-content/uploads/2019/05/Ficha-Tecnica-Panel-SunPower_MAX3-400-390-370.pdf

IS Arquitectura (2010); Toldos solares, recuperado de: <https://blog.is-arquitectura.es/2010/05/06/toldos-con-laminas-solares-de-ftl-solar/>

UPC (2014); Aplicación de la tecnología fotovoltaica de capa fina en empresas del sector logístico, recuperado de: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/23488/Memoria.pdf>

Amazon (2019); Precio de toldo solar ePVL-144, recuperado de: <https://www.amazon.co.uk/UniSolar-ePVL-144-Laminate-Amorphous-Solar/dp/B00CGAEJCW#customerReviews>

Uni solar (2019); Ficha técnica del toldo solar ePVL-144, recuperado de: http://www.uni-solar.com/wp-content/uploads/2011/11/PB_ePVL_Technical_Data_Sheet_EN_-AA6-3624-04-.pdf

Bibliografía de imágenes:

Imagen 4-1:

<https://es.weatherspark.com/y/45898/Clima-promedio-en-Castello%AD-Espa%AD-B1a-durante-todo-el-a%AD-B1o>

Imagen 6-1:

<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/objetos/figutut255/tab3tut255.jpg>

Imagen 7-1:

<https://i1.wp.com/www.aire-acondicionado.com.es/wp-content/uploads/2015/09/Caracter%ADsticas-t%ADcnicas-MSZ-FA35VA-E1.jpg?resize=1024%2C573>

Imagen 7-2:

<https://i2.wp.com/www.aire-acondicionado.com.es/wp-content/uploads/2015/09/Caracter%ADsticas-t%ADcnicas-aire-acondicionado-fujitsu-general.jpg>

Imagen 8-1:

<http://www.tippik.mx/wp-content/uploads/2018/11/sensacio%CC%81n-te%CC%81rmica-grados-viento.png>

Imagen 8-2:

<http://www.ventiladorestecho.com/media/wysiwyg/modos.jpg>

Imagen 8-3:

<http://www.ventiladorestecho.com/media/wysiwyg/modo-invierno-verano.jpg>

Imagen 8-14:

<http://magnetarplus.com/wp-content/uploads/2019/04/moto-2.jpg>

Imagen 8-15:

http://magnetarplus.com/wp-content/uploads/2019/04/cropped-diagram_eng.jpg

Imagen 9-1:

<https://www.dynatec.es/blog/wp-content/uploads/2017/11/energia-termo-solar.png>

Imagen 9-2:

<https://www.solucionesintegralesendesa.com/blog/wp-content/uploads/2018/04/panel-solar.jpeg>

Imagen 9-3:

<https://www.panelessolaresbarcelona.com/mapa-de-la-radiacion-solar-en-europa>

Imagen 9-4:

http://icaen.gencat.cat/web/.content/10_ICAEN/17_publicacions_informes/09_fons_documental/02_estudis_monografics/arxius/monografic12.pdf

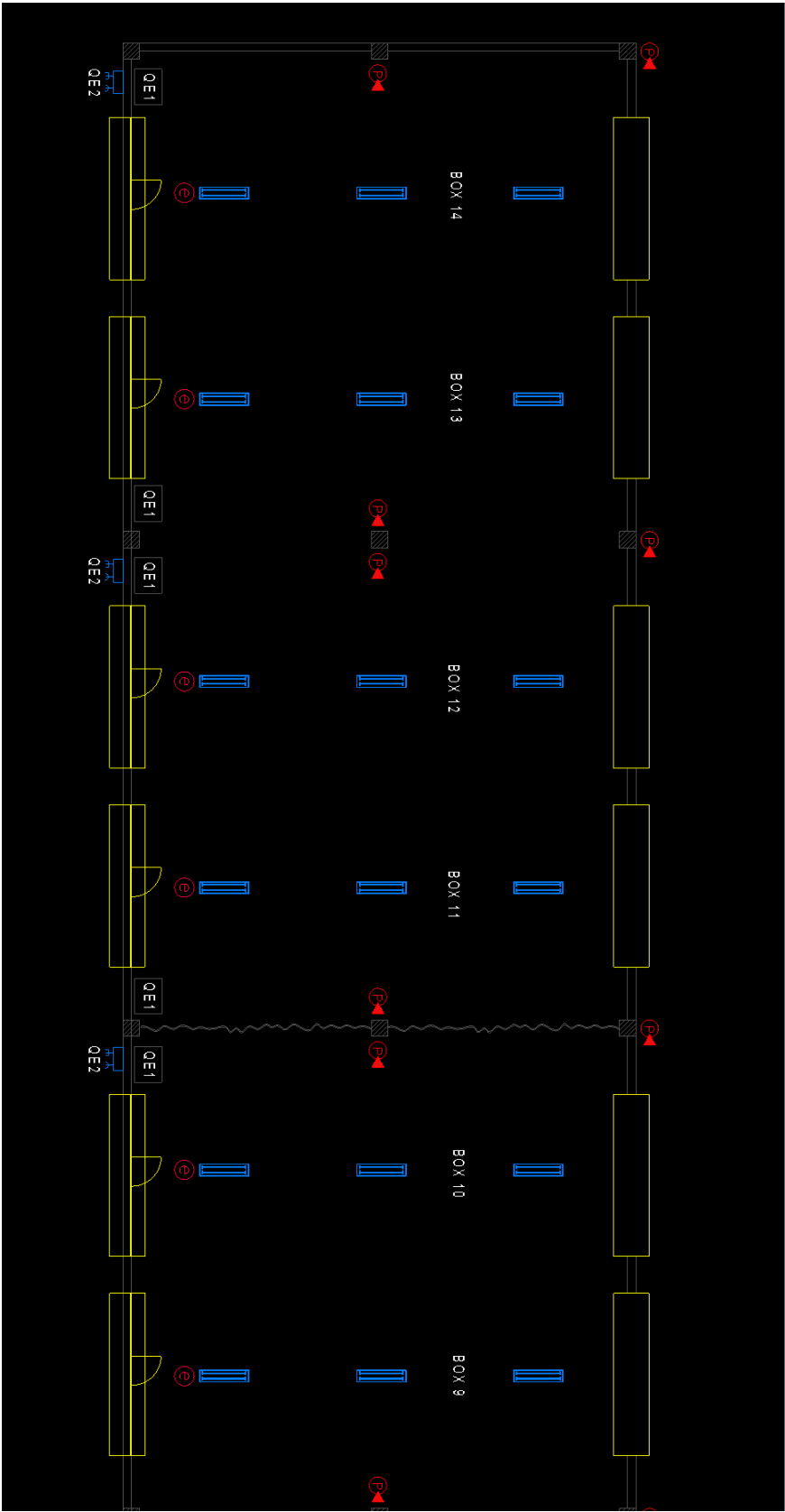
Imagen 9-5:

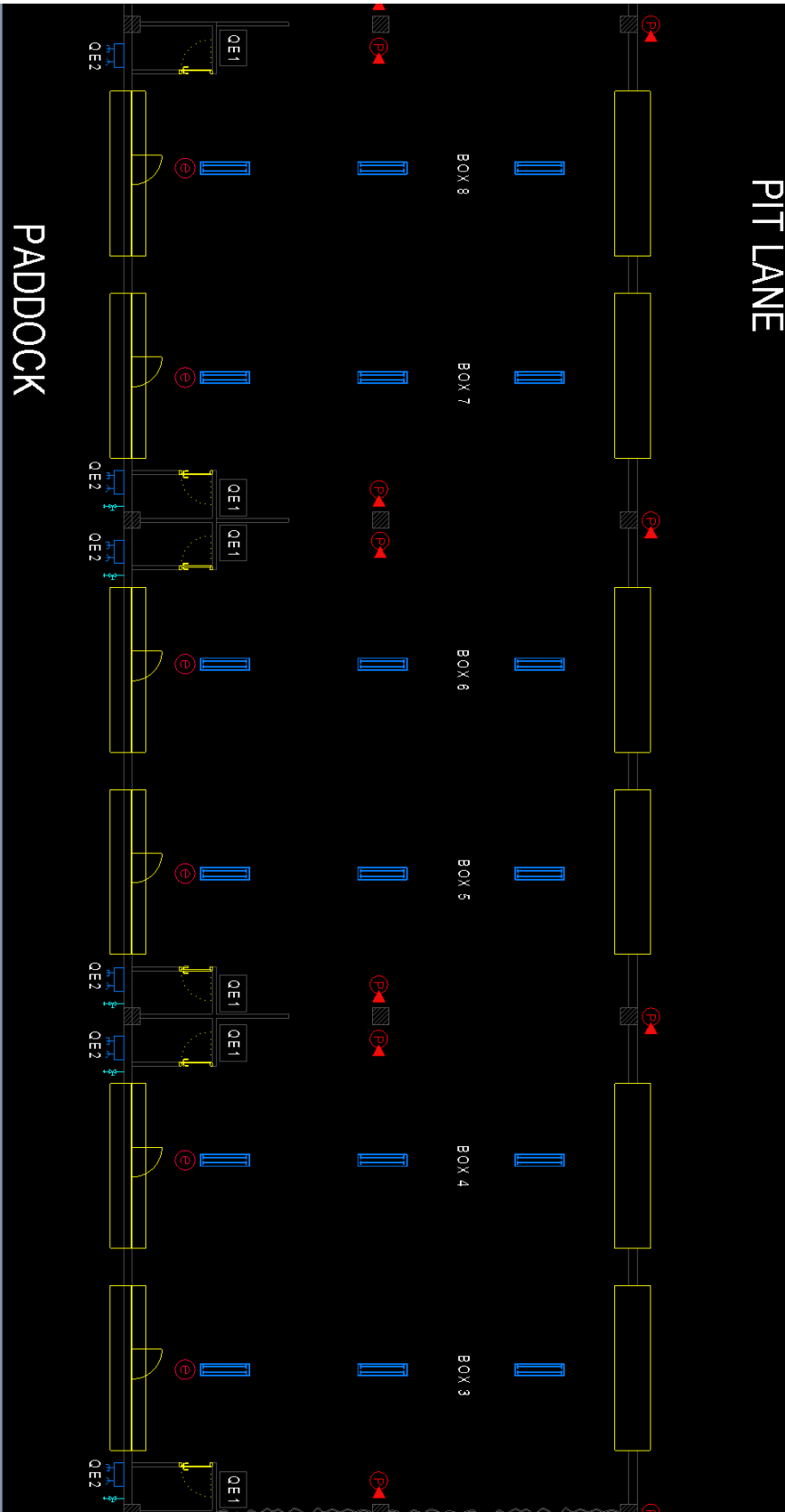
https://www.photovoltaiik-shop.com/media/catalog/product/cache/1/image/76f8269affbe0eb379df31778f1a84b4/i/m/image_2399_1_661_1_53_1_3676.jpg

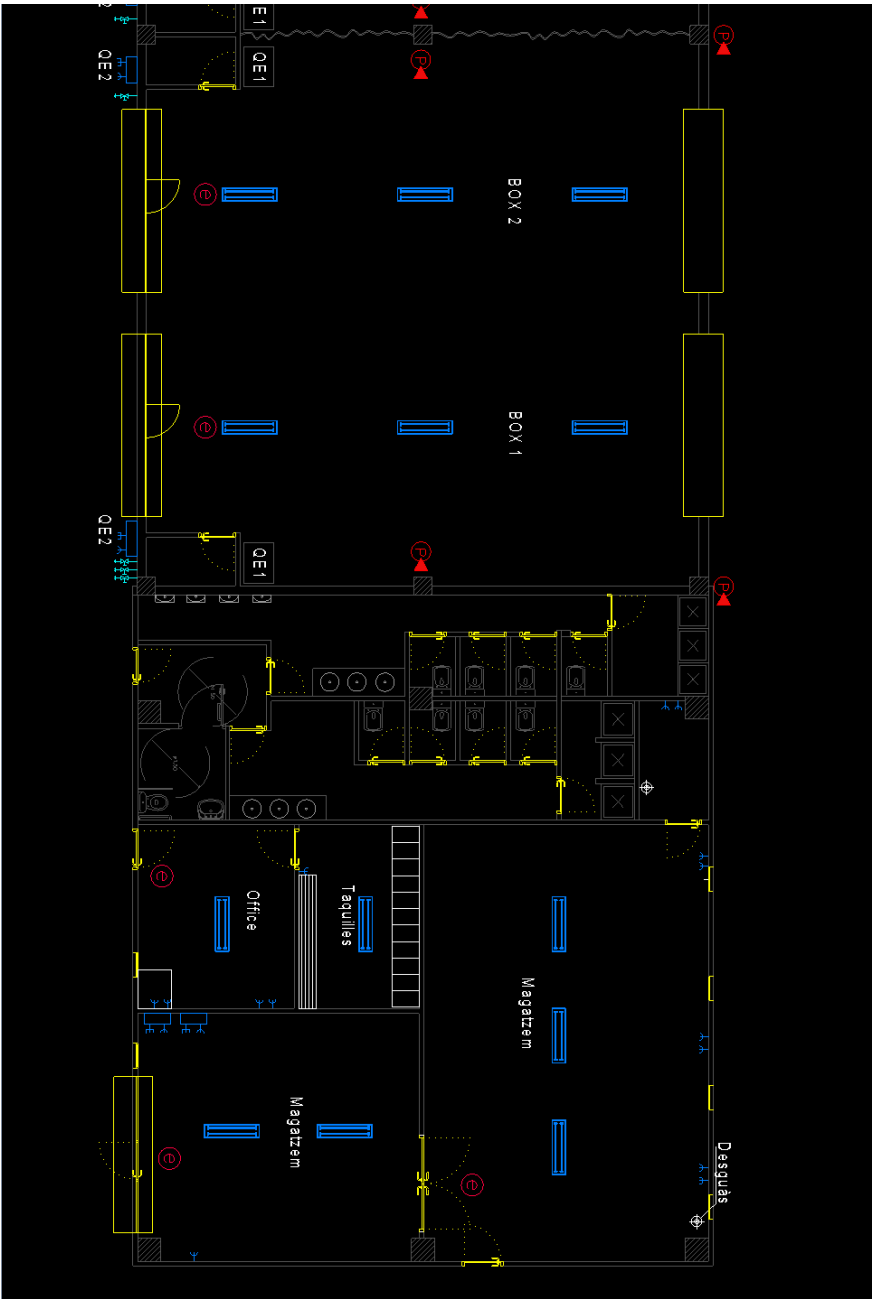
Imagen 9-7:

<https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/61JY-IV9IgL. SL1439 .jpg>

Anexo 1: Planos del local:








Anexo 2: Hojas de características


Aire acondicionado modelo GIA-DT3-200IX48:

OFFICE Conductos 1x1


Alta Potencia DC IX48

UNIDADES COMBINABLES DE 20,0 HASTA 40,0 KW






20/40 kW
(20kW/40kW)




25 kW

Unidad exterior









Unidad interior

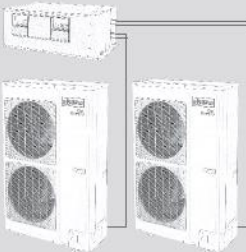



Mando de pared por cable


Ampliamos nuestra Gama OFFICE con los nuevos conductos de alta potencia DC Inverter con capacidad frigorífica desde los 20 kW hasta los 40 kW. Están especialmente diseñados para su colocación en grandes superficies en las que se desee obtener un gran rendimiento ocupando el mínimo espacio.

GIA-DT3-200IX48		GIA-DT3-250IX48		GIA-DT3-400IX48	
GIA-DI-200IX48		GIA-DI-250IX48		GIA-DI-400IX48	
					
GIA-UOT3-200IX48		GIA-UOT3-250IX48		GIA-UOT3-400IX48	
					

ESQUEMA BÁSICO INSTALACIÓN
GIA-DT3-400IX48







Datos técnicos

Conductos 1x1 Alta Potencia DC IX48

UNIDADES COMBINABLES DE 20,0 HASTA 40,0 KW

			GIA-DT3-200IX48	GIA-DT3-250IX48	GIA-DT3-400IX48
		Int.	GIA-DI-200IX48	GIA-DI-250IX48	GIA-DI-400IX48
MODELOS		Ext.	GIA-UOT3-200IX48	GIA-UOT3-250IX48	GIA-UOT3-400IX48 (GIA-UOT3-200IX48 + GIA-UOT3-200IX48)
Alimentación Eléctrica		V,F,HZ	380-415V (3 Fase~50/60Hz)		
UNIDAD EXTERIOR		RENDIMIENTO			
Capacidad refrigeración		kW	20,0	25,0	40,0
		Frig/h	17210	21510	34420
		Btu/h	68240	85300	136480
EER		W	2,55	2,65	2,60
Capacidad calefacción		kW	22,0	27,5	43,0
		Kcal/h	18930	23660	37000
		Btu/h	75060	93830	146710
COP		W	3,25	3,10	3,10
CARACTERÍSTICAS					
Unidad interior	Presión sonora	dB(A)	52/51/50	53/51/50	56/55/54
	Caudal aire	m³/h	3700	4200	7000
	Temperatura de operación	°C	17~30 16~29	17~30 16~29	17~30 16~29
Unidad exterior	Alimentación		3x2,5	3x2,5	3x2,5
	Presión sonora	dB(A)	62	63	62
	Caudal aire	m³/h	8400	11500	11000
	Temperatura operación	°C	-7~48 -15~24	-7~48 -15~24	-7~48 -15~24
	Alimentación		5x6	5x6	5x6 (x2)
Refrigerante	Carga / Tipo	kg/-	6,4 / R410A	8,0/ R410A	6,40 (x2)/ R410A
DIMENSIONES Y PESO					
Unidad interior	Dimensiones netas (An x Al x Pr)	mm	1460x365x790	1690x440x870	1680x650x900
	Dimensiones brutas (An x Al x Pr)	mm	1578x400x883	1788x465x988	1803x685x1023
	Peso neto/bruto	Kg	82/104	99/134	165/210
Unidad exterior	Dimensiones netas (An x Al x Pr)	mm	940x1430x320	940x1615x460	940x1430x320 (x2)
	Dimensiones brutas (An x Al x Pr)	mm	1023x1475x423	1023x1660x563	1023x1475x423 (x2)
	Peso neto/bruto	Kg	120/130	146/162	120/130 (x2)
CONEXIONES					
Tubería frigorífica	Líquido - Gas	Pulg.	φ 3/8" - 3/4"	φ 3/8" - 7/8"	φ 3/8" - 3/4"
	Longitud máxima	m	50	50	50
	Interconexión	-	2x1 mm (Apantallado)	2x1 mm (Apantallado)	2x1 mm (Apantallado) (x2)
CÓDIGO EAN		Conjunto	8435483805989	8435483805996	8435483806009

NOTA:

- La capacidad de refrigeración (calefacción) indicada anteriormente se mide en las condiciones siguientes:
Condiciones interior: 27°C DB / 19°C WB; Condiciones exterior: 35°C DB / 24°C WB.
Presión estática externa correspondiente a la estándar.
- Los niveles sonoros se miden en una habitación semi-anechoica, así que debe ser levemente superior en la operación real debido al cambio ambiental.
- (1.) Se prueba bajo condiciones estándar.
(2.) Se prueba bajo condiciones nominales de acuerdo con la norma CE/Eurovent.
- Velocidad diferente del ventilador.
- El volumen de aire se mide a la presión estática externa estándar correspondiente.



Ventilador de aspas modelo HVLS-ECO AC 1PH 200-240V 50/60Hz:



Hunter Industrial Fans | 21

ECO

Con aspas de 8' (2.45m), 10' (3.05m), 12' (3.66m), 14' (4.27m), 16' (4.88m), 18' (5.5m), 20' (6.1m) o 24' (7.32m) de diámetro, este ventilador ultra ligero utiliza un motor de corriente continua (BL-DC) personalizado con diseño 'Plug & Play' para su fácil y sencilla instalación. Podrá reducir su gasto energético mientras trabaja más cómodo y de una manera más productiva.

El ventilador industrial ECO es el HVLS más ligero disponible en el mercado, ofreciendo un flujo de aire de calidad industrial y siendo la opción más económica en la categoría.

Una amplia gama de controles está disponible, incluyendo un control analógico estándar de 1:1, así como un control de red con pantalla táctil que ofrece la flexibilidad para controlar hasta 30 ventiladores.

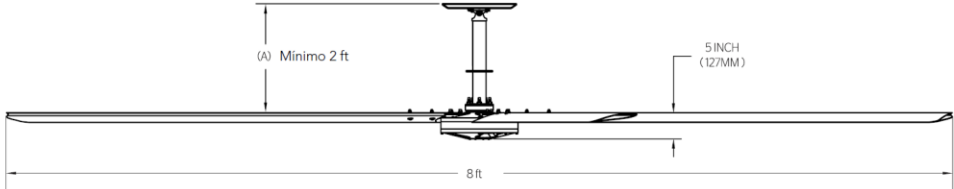


Foto con barra de extensión de 2 pies.

DIAMETRO DEL VENTILADOR		BARRA DE EXTEN-SION		FUERZA DEL MOTOR		AREA EFECTIVA DE IMPACTO ¹ (Cara/Pecho)				MAX. AREA AFECTADA ²				MAX RPM	PESO TOTAL ³	
ft	m	ft	m	HP	Max kW	ft	ft²	m	m²	ft	ft²	m	m²		lb	kg
8	2.45	2	0.61	5/8	0.466	32	1,024	9.75	95.06	40	1,600	12.19	148.60	190	87	40
10	3.05	2	0.61	5/8	0.466	40	1,600	12.20	148.84	50	2,500	15.24	232.26	140	94	43
12	3.66	2	0.61	5/8	0.466	48	2,304	14.63	214.04	60	3,600	18.28	334.16	110	101	46
14	4.27	3	0.91	5/8	0.466	56	3,136	17.07	291.38	70	4,900	21.33	454.97	100	128	58
16	4.88	3	0.91	5/8	0.466	64	4,096	19.50	380.25	80	6,400	24.38	594.38	90	135	61
18	5.5	3	0.91	5/8	0.466	72	5,184	22.00	484.00	90	8,100	27.43	752.40	80	138	62
20	6.1	4	1.22	5/8	0.466	80	6,400	24.40	595.36	100	10,000	30.48	929.03	70	145	66
24	7.32	4	1.22	5/8	0.466	96	9,216	29.30	858.49	120	14,400	36.57	1,337.36	60	159	72

Motores disponibles: AC 1PH 200-240v 50/60 Hz | AC 3PH 200-240v 50/60 Hz | AC 3PH 380-480v 50/60 Hz

¹Área efectiva de impacto: Área calculada de acuerdo con la norma ASHRAE 55, (5-667 piessegundo o 300-400 fpm) pies por minuto). Condiciones ambientales térmicas para la ocupación humana.

²Superficie máxima: Superficie calculada en base a (27-38 piessegundo) (162-228 fpm) pies por minuto) como área máxima efectiva.

³Peso total del ventilador: incluido aspas, motor, downrod o extensible o demás partes.

DOWNRODS (BARRAS DE EXTENSION) DISPONIBLES									
Ft	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inches	24	36	48	60	72	84	96	108	120
m	0.6096	0.9144	1.2192	1.524	1.8288	2.1336	2.4384	2.7432	3.048

Panel solar modelo SPR-X22-370 (MAX3-400)

SUNPOWER®
MAXEON®



MAXEON® 3 | 400 W

Residential Solar Panel

SunPower Maxeon panels combine the top efficiency, durability and warranty available in the market today, resulting in more long-term energy and savings.^{1,2}



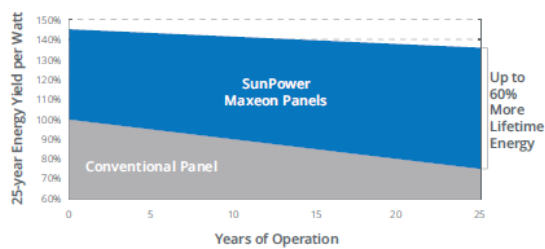
Maximum Power. Minimalist Design.

Industry-leading efficiency means more power and savings per available space. With fewer panels required, less is truly more.



Highest Lifetime Energy and Savings

Designed to deliver 60% more energy in the same space over 25 years in real-world conditions like partial shade and high temperatures.²



Fundamentally Different. And Better.



The SunPower Maxeon® Solar Cell

- Enables highest efficiency panels available²
- Unmatched reliability³
- Patented solid metal foundation prevents breakage and corrosion



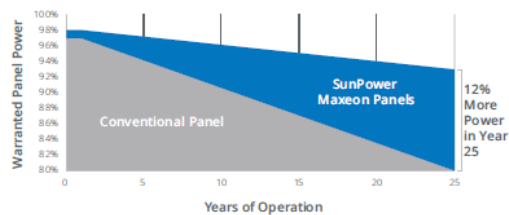
As Sustainable As Its Energy

- Ranked #1 in Silicon Valley Toxics Coalition Solar Scorecard⁴
- First solar panels to achieve Cradle to Cradle Certified™ Silver recognition⁵, pending
- Contributes to more LEED categories than conventional panels⁶



Better Reliability, Better Warranty

With more than 25 million panels deployed around the world, SunPower technology is proven to last. That's why we stand behind our panel with an exceptional 25-year Combined Power and Product Warranty, including the highest Power Warranty in solar.



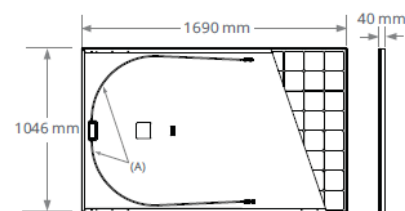
sunpowercorp.co.uk

MAXEON® 3 | 400 W Residential Solar Panel

Electrical Data			
	SPR-MAX3-400	SPR-MAX3-390	SPR-MAX3-370
Nominal Power (P _{nom}) ⁷	400 W	390 W	370 W
Power Tolerance	+5/0%	+5/0%	+5/0%
Panel Efficiency	22.6%	22.1%	20.9%
Rated Voltage (V _{mpp})	65.8 V	64.5 V	61.8 V
Rated Current (I _{mpp})	6.08 A	6.05 A	5.99 A
Open-Circuit Voltage (V _{oc})	75.6 V	75.3 V	74.7 V
Short-Circuit Current (I _{sc})	6.58 A	6.55 A	6.52 A
Max. System Voltage	1000 V IEC		
Maximum Series Fuse	15 A		
Power Temp Coef.	-0.29% / °C		
Voltage Temp Coef.	-176.8 mV / °C		
Current Temp Coef.	2.9 mA / °C		

Tests And Certifications	
Standard Tests ⁸	IEC 61215, IEC 61730 Class 1 fire rated per UNI 9177
Quality Management Certs	ISO 9001:2015, ISO 14001:2015
EHS Compliance	RoHS (Pending), OHSAS 18001:2007, lead free, REACH SVHC-163 (Pending)
Sustainability	Cradle to Cradle Certified™ (Pending)
Ammonia Test	IEC 62716
Desert Test	10.1109/PVSC.2013.6744437
Salt Spray Test	IEC 61701 (maximum severity)
PID Test	1000 V: IEC 62804, PVEL 600 hr duration
Available Listings	TUV ⁹

Operating Condition And Mechanical Data	
Temperature	-40° C to +85° C
Impact Resistance	25 mm diameter hail at 23 m/s
Solar Cells	104 Monocrystalline Maxeon Gen III
Tempered Glass	High-transmission tempered anti-reflective
Junction Box	IP-65, Stäubli (MC4), 3 bypass diodes
Weight	19 kg
Design Load	Wind: 2660 Pa, 274 kg/m² front & back Snow: 4000 Pa, 408 kg/m² front
Max. Load ¹⁰	Wind: 4000 Pa, 408 kg/m² front & back Snow: 6000 Pa, 611 kg/m² front
Frame	Class 1 black anodized (highest AAMA rating)



FRAME PROFILE



A. Cable Length: 1200 mm +/-10 mm
B. LONG SIDE: 32 mm
SHORT SIDE: 24 mm

Please read the safety and installation guide.

- 1 SunPower 400 W, 22.6% efficient, compared to a Conventional Panel on same-sized arrays (260 W, 16% efficient, approx. 1.6 m²), 7% more energy per watt (based on PVsyst pan files for avg EU climate), 0.5%/yr slower degradation rate (Jordan, et. al. "Robust PV Degradation Methodology and Application," PVSC 2018).
- 2 DNV "SunPower Shading Study," 2013. Compared to a conventional front contact panel.
- 3 #1 rank in "Fraunhofer PV Durability Initiative for Solar Modules: Part 3". PVTech Power Magazine, 2015.
- 4 SunPower is rated #1 on Silicon Valley Toxics Coalition's Solar Scorecard.
- 5 Cradle to Cradle Certified is a multi-attribute certification program that assesses products and materials for safety to human and environmental health, design for future use cycles, and sustainable manufacturing.
- 6 Maxeon2 and Maxeon3 panels additionally contribute to LEED Materials and Resources credit categories.
- 7 Standard Test Conditions (1000 W/m² irradiance, AM 1.5, 25° C). NREL calibration Standard: SOMS current, LACCS FF and Voltage.
- 8 Class C fire rating per IEC 61730.
- 9 Also certified under names SPR-XYX-XXX.
- 10 Calculated with a 1.5 Safety Factor.

Designed in USA
Made in Philippines (Cells)
Modules Assembled in Mexico

Visit www.sunpowercorp.co.uk for more information.
Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.

©2019 SunPower Corporation. All rights reserved. SUNPOWER, the SUNPOWER logo and MAXEON are trademarks or registered trademarks of SunPower Corporation. Cradle to Cradle Certified™ is a certification mark licensed by the Cradle to Cradle Products Innovation Institute.

UK: 0 8082818718 | Other EU: 00 800 855 81111

532418 REV A / A4_EN

sunpowercorp.co.uk

Lona solar modelo UniSolar ePVL-144 Laminate

UNI-SOLAR.
PowerBond ePVL

TECHNICAL DATA SHEET
ePVL 144 | 136 | 68

It Pays To Be Flexible

Building on 25 years of solar experience, the new, enhanced version of our proven PVL delivers greater efficiency, packing density and ease of installation, resulting in a lower cost of electricity than ever before.

Key Attributes

- Lightweight and flexible
- Roof-friendly solution requiring no penetrations
- BIPV & BAPV
- Superior performance at high temperatures
- Excellent performance even when partially shaded
- Built-in strain relief reduces installation labor and improves reliability
- Polarized, latching connectors
- Lead-free RoHS compliant design

Performance Characteristics

Rated Power (P_{max}): 144, 136 or 68 Wp
Tolerance of P_{max}: ±5 %

Mechanical Characteristics

Junction Box: IP66 terminal housing with integrated strain relief
Connectors: Polarized, weatherproof latching connectors with 4 mm² (12 AWG) halogen-free cables
Bypass Diodes: Connected across every solar cell
Front Surface: Durable ETFE high light-transmissive polymer
Adhesive: Peel and stick pressure sensitive adhesive (PSA)
Cell Type: Multi-junction amorphous silicon solar cells 356 mm x 239 mm (14" x 9.4")

Certifications and Warranty

- UL 1703 Listed by Underwriters Laboratories® for electrical and fire safety (Class A Max. Slope 2/12, Class B Max. Slope 3/12, Class C Unlimited Slope fire ratings) for use in systems up to 600 VDC
- IEC 61646 and IEC 61730 certified by TÜV Rheinland for use in Class A PV systems up to 1000 VDC
- MCS Certified
- CEC Listed

5-Year Limited Product Warranty
Limited Power Output Warranty: 92% at 10 years, 84% at 20 years, 80% at 25 years (of minimum power)

Application Criteria*

Suitable for installation on clean, dry approved substrates (refer to uni-solar.com for full details) at ambient temperatures above 10°C

Roof Requirements

Maximum slope of 60°
Install in areas free of water pooling

*Refer to United Solar's installation manuals for further application criteria






 Lightweight

 Flexible

 No Penetrations

 Shadow Tolerant

 Durable

 Easy to Install

Global Headquarters
Auburn Hills, MI USA
info@uni-solar.com
1.248.293.0440

European Headquarters
Paris, France
franceinfo@uni-solar.com
+33.1.74.70.46.24

German Sales Office
Mainz
europeinfo@uni-solar.com
+49.6131.240.40.400

Italian Sales Office
Verona
italyinfo@uni-solar.com
+39.045.8600982

#AAB 3624-04

Electrical Performance at Standard Test Conditions (STC) (1000 W/m², AM 1.5, 25°C Cell Temperature)

	ePVL-144	ePVL-136	ePVL-68
Maximum Power (P _{max}):	144 W	136 W	68 W
Voltage at P _{max} (V _{mpp}):	33.0 V	33.0 V	16.5 V
Current at P _{max} (I _{mpp}):	4.4 A	4.1 A	4.1 A
Short-circuit Current (I _{sc}):	5.3 A	5.1 A	5.1 A
Open-circuit Voltage (V _{oc}):	46.2 V	46.2 V	23.1 V
Maximum Series Fuse Rating:	10 A	10 A	10 A
Limiting Reverse Current:	10 A	10 A	10 A

Temperature Coefficients (TC)* (at AM 1.5, 1000 W/m² irradiance)

TC of I _{sc}	0.0010/K (0.10%/°C)
TC of V _{oc}	-0.0038/K (-0.38%/°C)
TC of P _{max}	-0.0021/K (-0.21%/°C)
TC of I _{mpp}	0.0010/K (0.10%/°C)
TC of V _{mpp}	-0.0031/K (-0.31%/°C)

Electrical Performance at Nominal Operating Cell Temperature (NOCT) (800 W/m², AM 1.5, 1 m/sec. wind)

	ePVL-144	ePVL-136	ePVL-68
Maximum Power (P _{max}):	111 W	105 W	53 W
Voltage at P _{max} (V _{mpp}):	30.8 V	30.8 V	15.4 V
Current at P _{max} (I _{mpp}):	3.6 A	3.4 A	3.4 A
Short-circuit Current (I _{sc}):	4.3 A	4.1 A	4.1 A
Open-circuit Voltage (V _{oc}):	42.2 V	42.2 V	21.1 V
NOCT:	46°C	46°C	46°C

Notes:

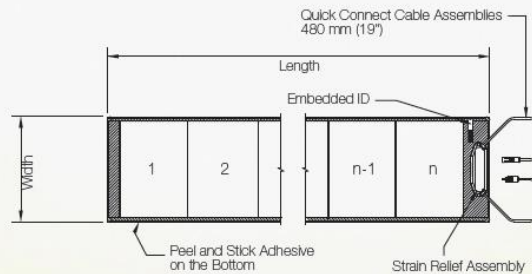
- During the first 8-10 weeks of operation, electrical output exceeds specified ratings. Power output may be higher by 15%, operating voltage may be higher by 8%, and operating current may be higher by 7%, Voc may be higher by 4% and Isc may be higher by 2%.
- Production tolerance for P_{max} at standard test conditions (STC) is +/-5% and for other electrical parameters is +/-10%. Electrical specifications are based on measurements performed at STC of 1000 W/m², AM1.5 and cell temperature of 25°C (per ASTM E892) after long-term stabilization. Actual performance may vary up to 10% from rated power due to low temperature operation, spectral and other related effects. Maximum system open-circuit voltage not to exceed 600 VDC per UL, 1000 VDC per IEC regulations.
- Specifications subject to change without notice.

*To determine performance of a module at a different temperature, use the following formula: $y = y_{reference} \times [1 + TC \times (T - T_{reference})]$

Physical Characteristics

	ePVL-136 ePVL-144	ePVL-68
Length:	5412 mm (213.1")	2771 mm (109.1")
Width:	373 mm (14.69")	373 mm (14.69")
Laminate Thickness:	3 mm (.12")	3 mm (.12")
Overall Thickness: (including adhesive and terminal housing)	21 mm (.83")	21 mm (.83")
Weight:	7.4 kg (16.2 lbs)	3.9 kg (8.5 lbs)
Number of Cells:	22 (n)	11 (n)

Tolerances: Length: ± 5 mm (¼"), Width: ± 5 mm (¼")



IV Curves at Various Levels of Irradiance at Air Mass 1.5 and 25°C Cell Temperature



UNI-SOLAR

PowerBond ePVL

© 2011 United Solar Ovonic—All Rights Reserved
A subsidiary of Energy Conversion Devices, Inc. (Nasdaq: ENER)

#AA6 3624-04 8/11

To learn more about PowerBond and other
UNI-SOLAR products, please call 1.800.528.0617
or visit uni-solar.com.



United Solar is a proud member of PV Cycle, an association that promotes the environmentally responsible collection and recycling of PV laminates and the protection of our climate and the environment by encouraging increased use and sustainability of PV technology. To learn more, please visit pvcycle.org.